Max Planck Research Group
Epistemes of Modern Acoustics

Sound & Science: Digital Histories

Gutzmann, Hermann, Physiologie der Stimme und Sprache, Braunschweig 1909.

https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/node/1977

Scan licensed under: CC BY-SA 3.0 DE | Max Planck Institute for the History of Science

MAX PLANCK INSTITUTE
FOR THE HISTORY OF SCIENCE

DIE WISSENSCHAFT

SAMMLUNG
NATURWISSENSCHAFTLICHER UND MATHEMATISCHER
MONOGRAPHIEN

NEUNUNDZWANZIGSTES HEFT

PHYSIOLOGIE
DER
STIMME UND SPRACHE

VON

PROF. DR. HERMANN GUTZMANN
IN BERLIN

MIT 92 ZUM TEIL FARBIGEN ABBILDUNGEN IM TEXT
UND AUF ZWEI TAFELN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1909

PHYSIOLOGIE

DER

STIMME UND SPRACHE

VON

PROF. DR. HERMANN GUTZMANN
IN BERLIN

MIT 92 ZUM TEIL FARBIGEN ABBILDUNGEN IM TEXT
UND AUF ZWEI TAFELN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1909

Alle Rechte,
namentlich das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Published January 26, 1909.
Privilege of Copyright in the United States reserved under the Act approved March 3, 1905 by Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Germany.

VORWORT.

Das vorliegende Büchlein beansprucht nicht, als eine umfassende Darstellung der Physiologie der Stimme und Sprache angesehen zu werden. Es soll nur dazu dienen, über die Fortschritte der letzten Jahrzehnte auf diesem Gebiete zu orientieren. Gleichwohl konnten bei der Aufgabe, die sich diese Sammlung von Einzelschriften gestellt hat, die altbekannten physiologischen Ergebnisse nicht völlig ausgelassen werden, wenn man nicht den Leser zwingen wollte, fortwährend die Handbücher der Physiologie zur Ergänzung heranzuziehen. Damit hierbei der Umfang nicht allzusehr überschritten wurde, sind die anatomisch-physiologischen Vorbemerkungen, sowie die Ausführungen älterer Tatsachen möglichst kurz gefaßt und in kleinem Druck niedergelegt. Ebenso sind diejenigen Ausführungen, die weniger allgemeines Interesse beanspruchen dürfen, wie Kurvenanalysen u. a. m., klein gedruckt.

Dagegen sind alle diejenigen modernen Forschungen, welche den Physiologen, den Psychologen, den Phonetiker, den Linguisten, den Laryngologen, den Spracharzt, den Taubstummenlehrer, den gebildeten Gesangspädagogen interessieren müssen, ausführlich berichtet.

Ein kurzer Überblick über die Methoden der experimentellen Phonetik durfte nicht fehlen. Allerdings mußte ich es mir versagen, auch nur an einigen Beispielen den Nachweis zu führen, wie gerade die experimentelle Phonetik

berufen ist, wissenschaftliche Fortschritte der Linguistik anzubahnen an Stellen, wo man auf bisher unerklärliche Tatsachen stieß. Ein solcher Nachweis wäre nur mit umständlicher Heranziehung von Daten der vergleichenden Sprachforschung zu führen, die hier nicht als bekannt hätten vorausgesetzt werden können. Ich möchte wohl wünschen, daß auch die noch widerstrebenden Phonetiker, Linguisten und Philologen sich mit dieser neuen Wissenschaft, die ein weites Arbeitsfeld voll ungehobener Schätze vor ihnen ausbreitet, eingehender vertraut machten. Dazu soll dieses Büchlein anregen.

Daß von den Experimentalpsychologen die hier geschilderten Methoden auch für ihre Zwecke benutzt werden, geht schon daraus hervor, daß die Phonetik ihnen manche guten Instrumente und neuen Methoden verdankt.

Für den Spracharzt wird die Physiologie der Stimme und Sprache stets der unerschöpflich fließende Born seiner physikalischen Behandlungsmethoden bleiben. Aber auch der Laryngologe wird, so hoffe ich, hier mannigfache Anregungen finden. Sind doch zahlreiche Stimmstörungen nicht mit dem Laryngoskop, sondern nur durch Analyse der Bewegungen und der Klänge zu erforschen; hängen doch viele Schwächezustände der Stimme von fehlerhaften Atembewegungen ab, deren Erforschung nur auf dem Wege des physiologischen Experimentes möglich ist!

Der Taubstummenlehrer findet von jeher in der Sprachphysiologie die Grundlagen seiner schönen und edlen Kunst, die dem tauben Kinde den Verkehr mit den hörenden Mitmenschen eröffnet, die den Taubstummen entstummt und ihn davor bewahrt, extrasozial zu bleiben oder zu werden.

Endlich kann sich auch die moderne Gesangspädagogik nicht mehr der Forschung nach den physiologischen Tatsachen des Kunstgesanges verschließen, einer Forschung,

deren Mittel und Wege hier angezeigt sind, und deren bisherige Ergebnisse uns zu der Hoffnung berechtigen, daß die noch völlig schwankenden Regeln des Kunstgesanges eine festere Grundlage erhalten werden.

Ob meine Absicht erreicht ist, das Interesse aller der genannten Berufsarten für dies Büchlein zu erwecken, ob meine Hoffnung, daß sie in ihm die Anregungen finden werden, die sie hier suchen, sich erfüllen wird, das muß die Zukunft lehren.

Zehlendorf-Berlin, im Dezember 1908.

Der Verfasser.

INHALTSVERZEICHNIS.

Seite

Vorwort V

Inhaltsverzeichnis IX

I. Physiologie der Atmung und Stimme.

A. Anatomische Vorbemerkungen 1

1. Atmung 1

2. Stimme 4

B. Die Atembewegungen beim Sprechen 16

1. Registrierung der Atembewegungen 16

2. Typus der normalen Sprechatmung 19

Registrierung des Atemvolumens beim Sprechen 28

C. Die Stimme 31

1. Bildung der Stimme 31

2. Tonhöhe und Tonstärke 33

3. Register 37

4. Genauigkeit der Stimme 42

5. Stimmeinsätze 46

6. Stimmlage und Stimmumfang 49

7. Flüsterstimme und Bauchrednerstimme 55

II. Physiologie der Sprachlaute.

A. Anatomische Vorbemerkungen 57

Der Aufbau des Ansatzrohres 57

B. Die Physiologie des Ansatzrohres 69

1. Klanganalyse der Sprachlaute 71

a) Analyse der menschlichen Stimme durch einfaches Hören 72

b) Graphische Analyse der Klänge 80

c) Klangkurven 93

d) Analyse der Klangkurven 96

Seite

e) Resultate der Klanganalyse 106
f) Theorie der Vokale 113
g) Synthese der Vokale 118
h) Analyse der Konsonanten 125
2. Formen und Bewegungen des Ansatzrohres 131
a) Analyse der Sprachbewegungen durch Beobachten . . 132
b) Analyse der Sprachbewegungen durch registrierende Instrumente 141
1. Akustische Registrierung 141
2. Optische Registrierung 141
3. Direkte Meßmethoden 145
c) Anwendung der Registrierung auf die einzelnen Bewegungen 146
1. Luftbewegung der Artikulation 146
2. Kehlkopfbewegungen 148
3. Unterkieferbewegungen 155
4. Zunge und Mundboden 156
5. Gaumensegel 158
6. Lippen 160
d) Apparate für die Gesamtaufnahme der Artikulationsorgane 161
e) Färbemethoden 162
Die Sprachlaute 164
a) Vokale und Konsonanten 164
b) Die Vokale 166
c) Die Konsonanten 170
1. Verschlußlaute, Media und Tenuis 170
2. Reibelaute 173
3. *L*-Laute 175
4. *R*-Laute 176
5. Resonanten 177
6. Laute des vierten Artikulationssystems 177
7. Kehlkopflaute 177
8. Schnalzlaute (Clixe) 178
d) Die Sprachlaute in der Verbindung 178
1. Doppelvokale und Doppelkonsonanten 179
2. Silbe, Wort, Satz 181
3. Die Akzente der Sprache 182
4. Die phonetische Schrift 194
Literaturverzeichnis 198

I. Physiologie der Atmung und Stimme.

A. Anatomische Vorbemerkungen.

1. Atmung.

Das Verständnis für den Vorgang der Atmungsbewegungen beim Sprechen setzt einige anatomische Vorkenntnisse voraus. Es sind zwei Bewegungen, durch welche der Brusthohlraum in seiner Größe verändert werden kann, so daß die ihm luftdicht eingefügte Lunge diesen Raumveränderungen folgt und damit das Einströmen bzw. Ausströmen der Luft durch die Bronchien in die Lungenalveolen bzw. aus ihnen bewirkt. Die Lunge ist schon in der Ruhestellung in Spannung, da der auf der Innenfläche der Alveolen ruhende Luftdruck gleich dem Atmosphärendruck ist, während der Druck in dem zwischen Lungenoberfläche und innerer Brustwandung vorhandenen kapillären Raum wesentlich kleiner ist [nach vielfachen Messungen von Donders, Hutchinson (an der Leiche), Aron, Einthoven und van den Brugh (beim Lebenden) etwa $4^1/_2$ bis 6 mm Quecksilber].

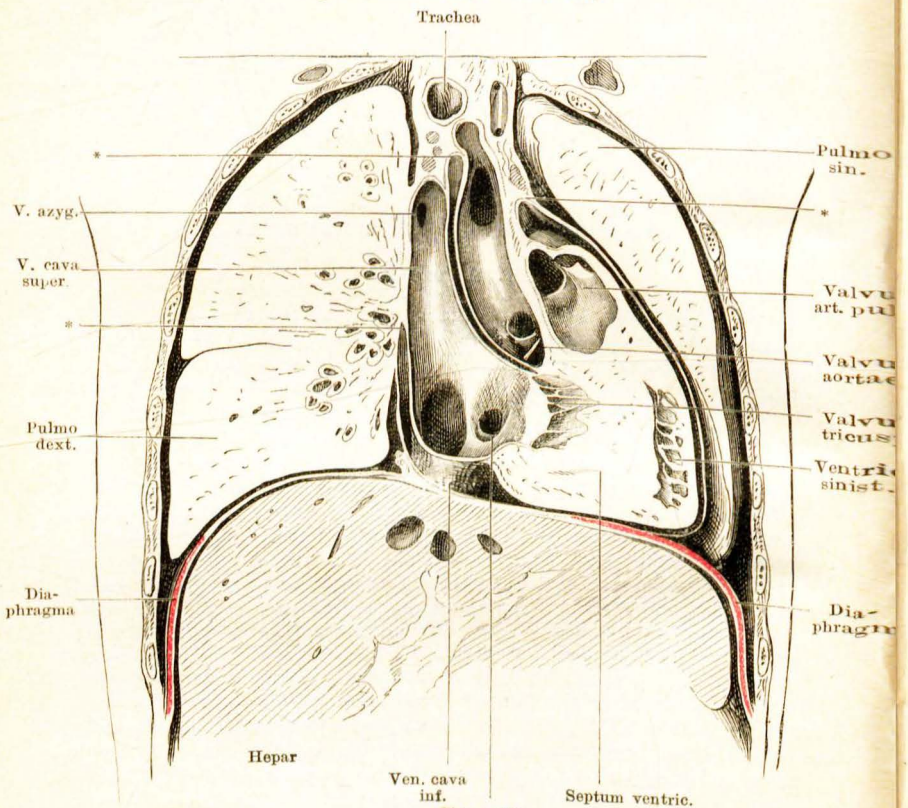
Die Erweiterung des Thorax und damit die Einatmung erfolgt in erster Linie durch das Zwerchfell (Diaphragma), einen kuppelförmigen, Brust- und Bauchhöhle voneinander trennenden Muskel, dessen periphere Teile der inneren Brustwand bei der Ausatmung eng anliegen (s. Fig. 1). Bei der Einatmung flacht sich die Kuppe ab, und das Zwerchfell rückt nach unten, indem der kapilläre Raum sich zu einem im Querschnitt keilförmigen Raum erweitert, den die Lunge sogleich ausfüllt. Die Figuren 2 zeigen in *a* die Ausatmungs-, in *b* die Einatmungsstellung des Zwerchfells [1]). Auch auf dem Röntgenschirm läßt sich die Zwerchfellbewegung durch Beobachtung des Leberschattens leicht verfolgen.

Diese Zwerchfellbewegung wird auf die vorderen weichen Bauchdecken übertragen, die natürlich dem Drucke nachgeben müssen. Sie heben sich also bei der Inspirationsbewegung und senken sich bei der

[1]) Näheres in Boruttau, Die Atembewegungen und ihre Innervation, in Nagels Handbuch der Physiologie 1 (1), 1 ff.

Exspiration, beides wenigstens in der Ruheatmung völlig passiv. Man registriert demnach die Zwerchfellbewegungen, wenn man die Atembewegungen des Bauches aufschreiben läßt.

Fig. 1 (nach Henle-Merkel).



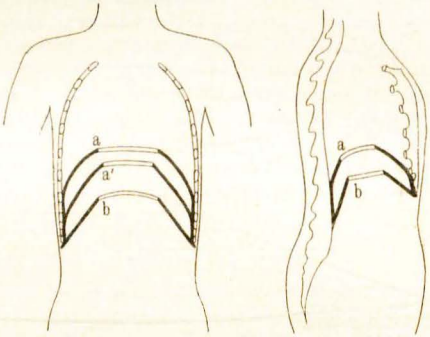
Frontalschnitt der Brust. Durchschnitt des Zwerchfells und Lage der Brusteingeweide.

*, *, * Umbiegungsstellen des Pericardium parietale in das Pericardium viscerale.

Die Erweiterung des Thorax geschieht ferner durch die Rippenbewegung. Betrachtet man den Brustkorb von der Seite, so sieht man die oberen Rippen so verlaufen, daß die beiderseitigen Rippen jederseits einen Halbring bilden. Ihre Bewegung findet so statt, daß

der ganze Ring um eine durch die Wirbelsäule von links nach rechts gehende Achse sich zu drehen scheint. In Wirklichkeit geschieht die Drehung um die in der Figur bei *a* durch die punktierten Linien angedeuteten Achsen. Die unteren Rippen verlaufen zunächst stark nach abwärts gerichtet, um dann nach oben umzubiegen und sich an das Brustbein zu heften. Hier liegt die Drehungsachse jeder Rippe in der

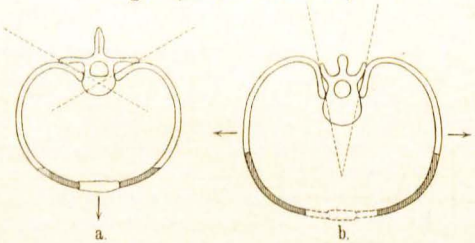
Fig. 2 (nach Boruttau).



Sagittalrichtung, wie es Fig. 3 b zeigt. Durch die Bewegung der oberen Rippen wird demnach das Brustbein nach vorn gehoben, durch die der unteren wird der Thorax seitlich erweitert.

Die Ausatmung erfolgt bei der Zwerchfellatmung durch Nachlassen der Zwerchfellkontraktion und Druckausgleichung der Bauch-

Fig. 3 (nach Boruttau).



decken. Bei forcierter Atmung werden die Bauchmuskeln kontrahiert und drücken nun ihrerseits das Zwerchfell nach oben. Die Ein- und Ausatmungsbewegungen der Rippen werden durch die Interkostalmuskeln bewirkt, über deren Funktion im einzelnen auch heute noch keine Übereinstimmung herrscht [1]).

[1]) Vgl. besonders R. du Bois-Reymond, Ergebnisse der Physiologie 1 (II), 387 ff.

Gewöhnlich werden beide Bewegungen, Brust- und Bauchatmung, gleichzeitig, wenn auch in verschiedenem Grade, benutzt: Atmungstypen; doch können sie durch Übung voneinander unabhängig gemacht werden. Sewall und Pollard behaupten, daß tiefe Töne stärker und reiner hervorgebracht werden können, wenn ausschließlich die Brustatmung verwandt wird, höhere Töne, wenn die Bauchatmung bevorzugt wird [1]).

Die Innervation des Zwerchfells geschieht durch den N. phrenicus, die der Interkostalmuskeln durch die Nn. intercostales. Jedoch darf nicht übersehen werden, daß von den untersten Interkostalnerven Ästchen auf den Rand des Zwerchfells übergreifen, so daß es begreiflich ist, daß die Bewegungen der unteren Rippen mit denen des Zwerchfells stets harmonisch von statten gehen: Beim sogenannten Flankenatmen kommt ganz ohne besonderes Zutun eine starke Mitbewegung des Zwerchfelles zustande. Das ist also die vollkommenste Tiefatmung für deklamatorisches Sprechen und Gesang.

2. Stimmorgan.

Während die anatomische und funktionelle Vorrichtung des Atmungsorgans noch verhältnismäßig leicht verständlich ist, sind die Schwierigkeiten, zu einer richtigen Vorstellung des Stimmorgans ohne anatomische Anschauung und ohne physiologische Versuche zu gelangen, außerordentlich erhöhte. Da die Kenntnis von dem Bau und der Funktion des Stimmorgans für das Verständnis des folgenden unumgänglich nötig ist, so wollen wir es hier versuchen, unter Beifügung deutlicher Bilder die Anatomie und die Muskelfunktionen im Kehlkopf kurz darzustellen.

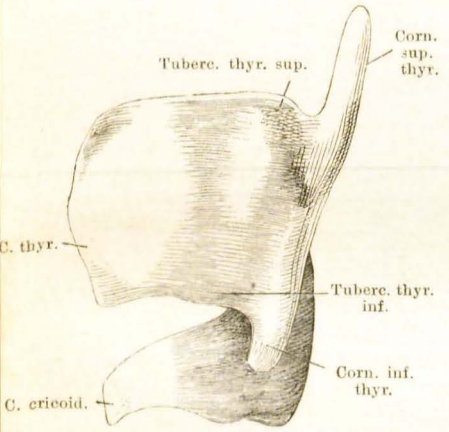
a) Knorpelige Grundteile.

Auf den obersten der hufeisenförmigen Knorpelhalbringe der Luftröhre folgt ein vollständig geschlossener starker, knorpeliger Ring, dessen schmalste Stelle vorn liegt, während seine Höhe nach hinten hin immer mehr zunimmt (s. Fig. 4 u. 5), so daß er im ganzen ungefähr die Form eines großen Siegelringes hat, dessen Schild nach hinten gerichtet ist. An dieser Platte des ringförmigen Knorpels (Cartilago cricoidea) oder, wie er nach seiner Funktion, den gesamten Kehlkopf zu tragen, heißt, des Grundknorpels, befinden sich vier Gelenkflächen, und zwar zwei auf jeder Seite. Die am meisten nach oben gelegenen Gelenkflächen dienen zur Artikulation der Gießbeckenknorpel (Cartilagines arytaenoideae), die unteren Gelenkflächen zur Artikulation mit dem Schildknorpel (Cartilago thyreoidea). Die Gießbeckenknorpel stellen im wesentlichen kleine dreiseitige Pyramiden

[1]) H. Sewall und E. M. Pollard, On the relations of diaphragmatic and costal respiration. Journ. of Physiol. 11, 159, 1890, zitiert nach R. du Bois-Reymond.

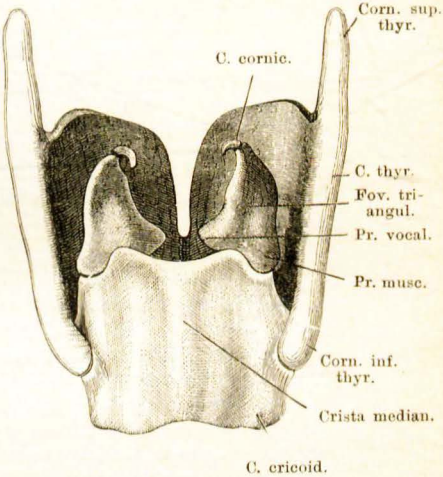
dar, und man kann sie infolgedessen nach ihrer Gestalt wohl Pyramidenknorpelchen nennen. Von den unteren drei Ecken haben zwei eine kleine Verlängerung, und zwar die hintere äußere Ecke und die innere vordere Ecke. An der hinteren äußeren Ecke setzen gewisse Muskeln an, während an der vorderen Ecke die hinteren Enden der Stimmbänder befestigt sind. Nach diesem Zweck heißt der erstgenannte Fortsatz: Processus muscularis, der zweitgenannte: Processus vocalis. Die vorderen Enden der Stimmbänder stoßen aneinander an der hinteren Fläche des sogenannten Schildknorpels, den wir, wenn wir an der äußeren vorderen Halspartie tastend entlang gleiten,

Fig. 4
(nach Henle-Merkel).



Kehlkopfknorpel von der Seite.

Fig. 5
(nach Henle-Merkel).

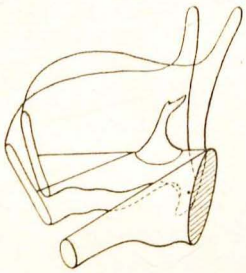


Kehlkopfknorpel von hinten.

beim männlichen Geschlecht in Form des „Adamsapfels“ vorfinden. Der Schildknorpel hat eine eigentümliche schildartige Form, der obere Rand ist dreieckig ausgebuchtet und endet nach außen hin jederseits in ein langes, schräg nach oben gerichtetes Horn. Der untere Rand geht mit leichter Biegung nach hinten und endet jederseits in ein nach unten gerichtetes Horn. Dieses nach unten gerichtete Horn artikuliert jederseits an der zweiten vorhin schon genannten Gelenkfläche des Ringknorpels. Biegt man nun den Schildknorpel um seine von rechts nach links gehende Achse nach unten herunter, so ist es klar, daß er bei feststehenden Gießbeckenknorpeln die Stimmbänder anspannen muß. Dies geschieht durch die Musc. crico-thyreoideï. Man hat ihn des-

wegen nach seiner Funktion auch Spannknorpel genannt [1]). Da die Gießbeckenknorpel durch ihre vielfachen Muskelansätze in die verschiedenartigsten Stellungen gebracht werden können und demnach auch die Partie zwischen den beiden Stimmbändern die verschiedenartigsten Formen annehmen kann, so nennt man diese beiden Knorpel nach ihrer Funktion Stellknorpel. Man merke demnach bei jedem der geschilderten Kehlkopfknorpel die beiden Namen: einen Namen nach der Form, den zweiten Namen nach der Funktion der Knorpel: Ringknorpel oder Grundknorpel, Gießbeckenknorpel (besser Pyramidenknorpelchen) oder Stellknorpel und Schildknorpel oder Spannknorpel. Oberhalb der Stelle, wo die Stimmbänder mit ihren vorderen Enden an der hinteren Seite des Schildknorpels sich ansetzen, legt sich der Stiel des löffelartig gestalteten Kehldeckelknorpels an. Zwischen dem oberen Rande des Schildknorpels und dem senkrecht darüber gelegenen hufeisenartig geformten Zungenbein ist eine membranartige Verbindung vorhanden, die Zungenbeinschildknorpelband oder Ligamentum thyreo-hyoideum genannt wird.

Fig. 6.



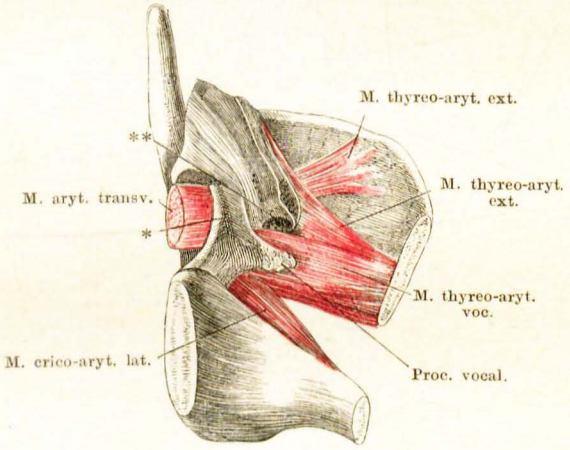
b) Muskeln des Kehlkopfes.

Indem wir von den äußeren Muskeln des Kehlkopfes, die an dem Halse vorn vor dem Kehlkopf liegen, mit Ausnahme des schon erwähnten M. crico-thyreoideus, absehen, da sie im wesentlichen zur Auf- und Niederbewegung des Organs dienen, wollen wir hier diejenigen Muskeln beschreiben, die ganz besonders auf die verschiedenartige Gestaltung der Stimmritze einwirken müssen, das sind: 1. die Musculi thyreo-arytaenoidei oder vocales, welche jederseits im Stimmband liegen, demnach also von der hinteren Fläche des Schildknorpels entspringen und an die Processus vocales der Gießbeckenknorpel ansetzen; 2. zwei Mukelpaare, welche jederseits ausgehen von dem Processus muscularis der Gießbeckenknorpel. Das eine Paar der Muskeln geht nach vorn schräg nach unten an die Seite des Ringknorpels, das andere zieht vom Processus muscularis aus schräg nach hinten unten und setzt sich an die hintere Fläche des Ringknorpels an: Musculi crico-arytaenoidei laterales oder antici und Musculi crico-arytaenoidei

[1]) Neuerdings nimmt man an, daß der Schildknorpel feststehe und der Ringknorpel bei der Spannung der Stimmlippen gegen ihn bewegt werde. Für den Effekt ist das natürlich gleich, nur würde man dann den Schildknorpel als Grund-, den Ringknorpel als Spannknorpel bezeichnen müssen.

postici. Endlich ziehen zwischen den beiden Gießbeckenknorpeln und ihren hinteren Flächen der Musculus arytaenoideus transversus und die beiden Musculi arytaenoidei obliqui oder M. thyreo-arytaenoidei obliqui. So lang alle diese Muskelnamen auch sind, so haben sie doch das Gute, daß in dem Namen des Muskels immer gleich die beiden Ansatzpunkte desselben enthalten sind. Man vergleiche hierzu die Abbildungen der Muskeln in Fig. 7 bis 10. Ihre Tätigkeit werden wir uns am besten an rein schematischen Figuren klar machen. Wenn in der beigegebenen Fig. 11 der punktierte Kreis den Ringknorpel dar-

Fig. 7 (nach Henle-Merkel).



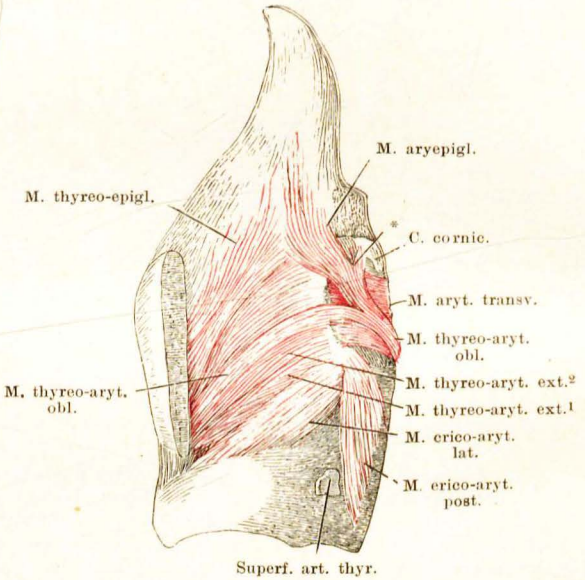
Innere Kehlkopfmuskulatur, linke Hälfte.

* Innerer Winkel der Cart. arytaenoidea. ** Hinterer Winkel des Ventriculus laryngis.

stellt und die stumpfwinklig geknickte Bogenlinie BAB' den Schildknorpel, so ist das Dreieck $PmPvD$ die Darstellung der Basis der Gießbeckenknorpel. Von der vorderen Ecke Pv (= Processus vocalis) ziehen die Stimmbänder nach dem Punkt A des Schildknorpels. Von dem Punkt Pm (= Processus muscularis) ziehen seitlich jederseits die Musculi crico-arytaenoidei laterales. In der Figur sind sie durch einen Pfeil angedeutet. Nehmen wir an, daß die hintere innere Ecke der Gießbeckenknorpel unbeweglich ist, so werden bei der Wirkung dieser Muskeln die Gießbeckenknorpel um den Punkt D (= Drehpunkt) so gedreht werden, daß die vorderen Ecken zusammenstoßen, es wird also auf diese Weise eine Art Hebelwirkung ausgeübt, und es ist klar, daß die inneren Flächen der beiden Stimmbänder sich nähern müssen, und daß nur zwischen den beiden Drehpunkten und den vorderen Spitzen der Pyramidenknorpel ein kleines Dreieck $DPv'D'$ offen bleibt.

Die Wirksamkeit des in dem Stimmbande selbst gelegenen Stimmmuskels (Musculus vocalis oder Musculus thyreo-arytaenoideus) wird im wesentlichen doch nur die sein, daß er die beiden Gießbeckenknorpel nach vorn zu ziehen sucht. Wenn wir annehmen, daß der vordere Ansatzpunkt dieses Muskels links und rechts von A zu suchen ist, und daß der Muskel parallel der Linie APv jederseits verläuft, so ist es klar, daß er bei seiner Kontraktion im wesentlichen nicht anders die Stimmbänder in ihrer gegenseitigen Lage fixieren kann als in dem länglichen Dreieck DAD'. Nur dadurch, daß er auch noch an der

Fig. 8 (nach Henle-Merkel).



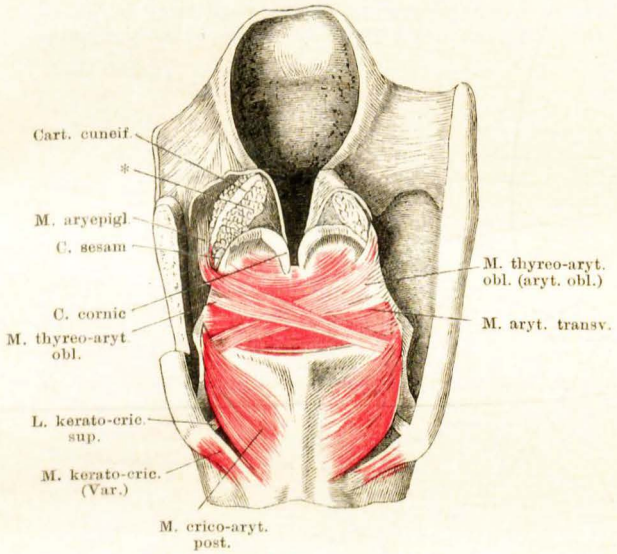
Innere Kehlkopfmuskulatur, von links gesehen. Die linke Schildknorpelplatte ist entfernt.

* Abzweigung des M. aryepiglottic. vom M. aryt. obliquus.

vorderen Seite der Basis der Pyramidenknorpelchen ansetzt, vermag er den Processus vocalis ein klein wenig nach innen zu bewegen, so daß an dieser Stelle ein leichter Knick in der sonst geraden Linie $DPvA$ entstehen würde. Niemals aber ist dieser Muskel allein etwa imstande, die beiden Processus musculares zur Berührung zu bringen. In der Tat ist auch nicht die Stellung der Stimmbänder oder die Stellung der Aryknorpel seine wesentliche Aufgabe, sondern seine ganze Lage in der Substanz des Stimmbandes deutet schon darauf hin, daß er durch seine Kontraktion, durch die ja jeder Muskel dicker wird, die

Form und Elastizität des Stimmbandes, wie sie zum Tönen und besonders zur Erzeugung der Bruststimme nötig ist, erst schaffen kann.

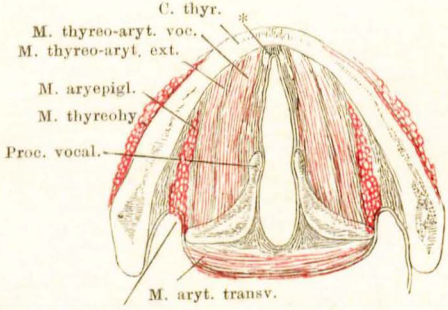
Fig. 9 (nach Henle-Merkel).



Kehlkopfmuskulatur von hinten.

* Schleimdrüsen.

Fig. 10 (nach Henle-Merkel).



Horizontalschnitt durch die Stimmlippen.

* Elastisches Knötchen (Macula flava) am vorderen Ende des Stimmbandes.

Fig. 12 zeigt in ähnlicher Weise die Wirksamkeit der Musculi crico-arytaenoidei postici. Wie man sieht, wird durch die Kontraktion dieser Muskeln aus dem länglichen Dreieck ein Fünfeck, vorausgesetzt natürlich, daß die beiden Punkte D und D^1 unverändert bleiben. Endlich zeigt die nächste Figur die Wirksamkeit der zwischen den beiden Gießbeckenknorpeln ausgespannten Gießbeckenknorpelmuskeln. Sie

Fig. 11.

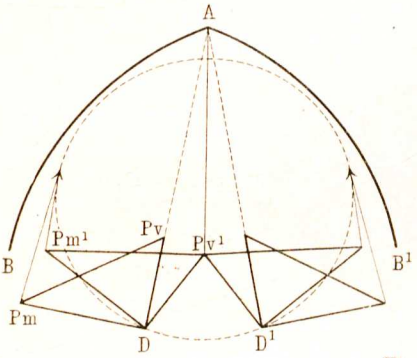


Fig. 13.

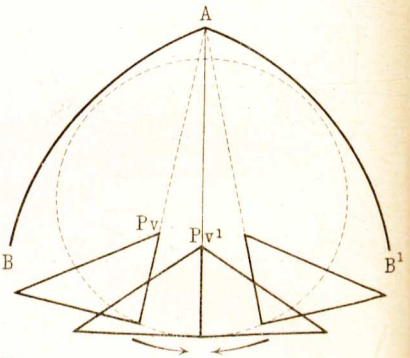
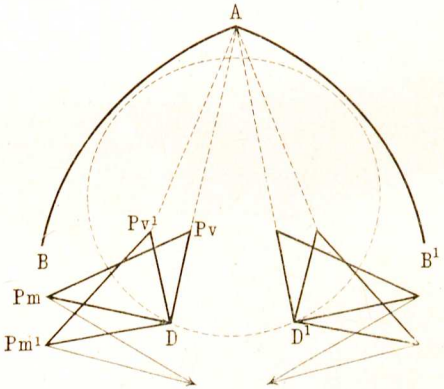


Fig. 12.

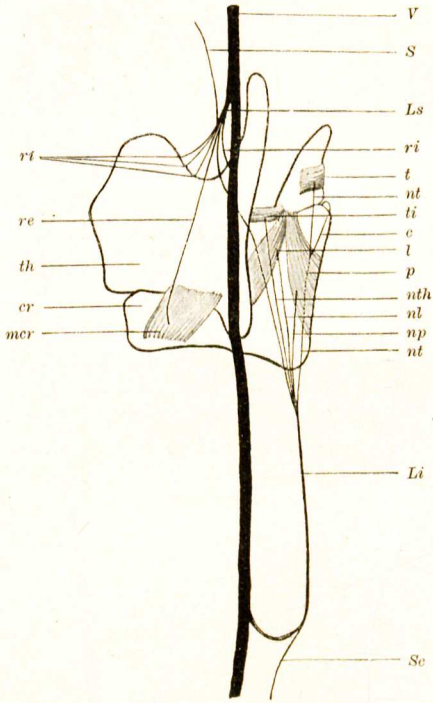


führen bei ihrer Zusammenziehung die beiden Knorpelchen aneinander und schließen so erst in der Tat die Innenflächen der Knorpelchen, so daß die Stimmritze zum Tönen verengt ist. Nur bei wirklicher Aneinanderlagerung dieser Knorpel kann eine volle normale Bruststimme ertönen. Fehlt die Wirksamkeit dieser Muskeln, so bleiben die Gießbeckenknorpel voneinander entfernt, und die Stimme klingt heiser und rauh oder sinkt sogar zum Flüstern herab.

Die Muskulatur des Kehlkopfeinganges zeigt, wie die anatomischen Figuren lehren, eine ringförmige Anordnung, wie alle Schnürmuskeln (Sphincteren). Man vergleiche z. B. den Ringmuskel des Mundes damit.

Es mag noch bemerkt sein, daß die Funktionen der einzelnen oben besprochenen Kehlkopfmuskeln in Wirklichkeit nicht so einfach sich

Fig. 14 (nach Onodi aus Nagel).



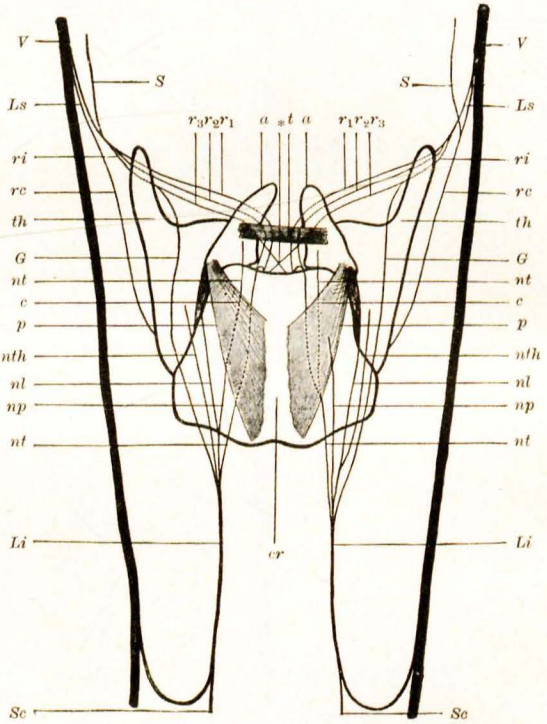
Verlauf und Anordnung der motorischen und sensiblen Nerven des menschlichen Kehlkopfes von der Seite.

V Vagus. *Ls* oberer Kehlkopfnerv. *ri* der innere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. *re* der äußere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. *S* Verbindung mit dem sympathischen Nervensystem. r_1 r_2 r_3 Schleimhautzweige des oberen Kehlkopfnerven. *th* Schildknorpel. *cr* Ringknorpel. *l* Musculus cricoarytaenoideus lateralis. *p* Musculus cricoarytaenoideus posticus. *t* Musculus arytaenoideus transversus. *Li* unterer Kehlkopfnerv. *nt* Nerv des Musculus arytaenoideus transversus. *c* Verbindungszweig. *np* Nerv des Musculus cricoarytaenoideus posticus. *nl* Nerv des Musculus cricoarytaenoideus lateralis. *nth* Nerv des Musculus thyreoarytaenoideus. *Sc* Verbindung mit dem Sympathicus und mit den Herznerven. *ti* Musculus thyreoarytaenoideus. *mcr* Musculus cricothyreoideus.

darstellen. Es würde aber nur verwirren, wenn man an dieser Stelle die noch unbeantworteten Fragen der Muskelphysiologie des Kehlkopfes darstellen wollte.

Die Innervation des Kehlkopfes (s. Fig. 14 und 15) erfolgt durch den N. laryngeus superior und den N. laryngeus inferior seu recurrens. Letzterer ist der hauptsächlichste motorische Nerv. Der N. laryngeus

Fig. 15 (nach Onodi aus Nagel).



Verlauf und Anordnung der motorischen und sensiblen Nerven des menschlichen Kehlkopfes von hinten.

V Vagus. *Ls* oberer Kehlkopfnerv. *ri* der innere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. *re* der äußere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. *S* Verbindung mit dem sympathischen Nervensystem. $r_1\ r_2\ r_3$ Schleimhautzweige des oberen Kehlkopfnerven. *G* Galenische Schlinge. * Kreuzung der sensiblen Fasern. *th* Schildknorpel. *a* Gießkannenknorpel. *cr* Ringknorpel. *p* Musculus cricoarytaenoideus posticus. *t* Musculus arytaenoideus transversus. *Li* unterer Kehlkopfnerv. *nt* Nerv des Musculus arytaenoideus transversus. *c* Verbindungszweig. *np* Nerv des Musculus cricoarytaenoideus posticus. *nl* Nerv des Musculus cricoarytaenoideus lateralis. *nth* Nerv des Musculus thyreoarytaenoideus. *Sc* Verbindung mit dem Sympathicus und mit den Herznerven.

superior ist der motorische Nerv für den Musculus crico-thryreoideus, sonst ist er der sensible Nerv für den ganzen Kehlkopf.

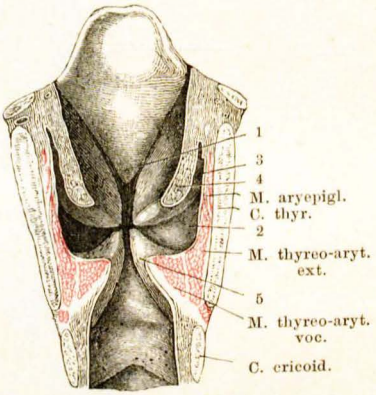
Zerstörung des Recurrens macht Stillstand der gleichseitigen Stimmlippe, Zerstörung des Nerv. laryngeus superior Aufhebung der Kehlkopfreflexe und Rauhigkeit der Stimme durch Lähmung des Stimmlippenspanners, des M. crico-thyreoideus.

Die zentrale Innervation erfolgt vom Krauseschen Zentrum aus. Die Literatur darüber ist fast unübersehlich. Sie knüpft sich an die Namen: Sémon, Horsley, Mott, Onodi, Klemperer, Grabower, Grossmann, Bechterew, Katzenstein, Russel, Broeckaert u. a. m. Auch die periphere Innervation ist immer noch Gegenstand der Diskussion. Übersichtlich sind die einzelnen Meinungen zusammengestellt von Grützner und Nagel.

c) Konfiguration des Kehlkopfes.

Die gesamte bisherige Beschreibung ist noch nicht imstande, ein richtiges Bild des Kehlkopfes und seiner Tätigkeit zu entwerfen. Die Knorpel, die Muskeln und Bänder, die wir besprochen haben, sind im wesentlichen das Grundgerüst des Kehlkopfes. Zwischen diesen Teilen liegen noch eine große Masse von Weichteilen, und der gesamte Kehlkopf ist in seiner Innenfläche tapetenartig überzogen von Schleimhaut. Um die Lagerung der einzelnen Teile sich richtig zur Anschauung zu bringen, ist es demnach am besten, den Kehlkopf in verschiedenen Durchschnittsbildern zu besichtigen. Die Fig. 16 stellt einen parallel zur Stirn geführten Durchschnitt durch den Kehlkopf dar, und zwar die vordere Hälfte des Kehlkopfes. Wir sehen dabei unten die Luftröhre, welche sich nach der Höhe der Stimmbänder zu allmählich verengt, so daß bei aneinander liegenden Stimmbändern die Seitenteile sich berühren. Darauf weicht die Schleimhaut links und rechts tief zurück und kehrt in einem großen Bogen nach der Mitte zu zurück. Dieser Bogen umfaßt die Morgagnische Tasche, die nach oben hin durch den Schleimhautrand der sogenannten falschen Stimmbänder begrenzt wird. Die Schleimhaut kehrt dann nämlich sehr bald wieder

Fig. 16 (nach Henle-Merkel).

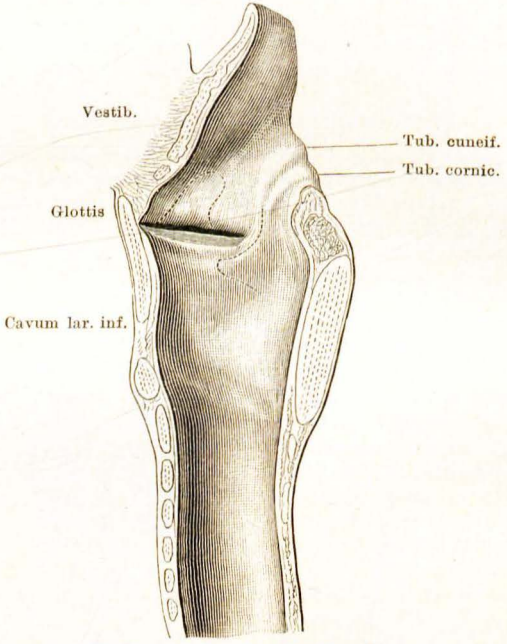


Frontalschnitt des Kehlkopfes, von innen.

1 Wulst der Epiglottis. 2 Ventriculus laryngis. 3 Appendix desselben. 4 Plica ventricularis. 5 Plica vocalis.

nach außen hin und endet in dieser Figur schließlich oben in dem Kehldeckel. Die falschen Stimmbänder haben also mit Bändern gar nichts zu tun, sondern sind nichts weiter als Schleimhautfalten. Wir sehen aus dieser Figur, daß die wahren Stimmbänder auch nicht Bänder sind, sondern man könnte sie Balken nennen, dreikantige Balken, die, mit einer Fläche an der Seitenwand befestigt, die dritte Kante nach innen kehren. Auch sind die Stimmbänder mit Recht Stimmlippen genannt worden. In der Substanz dieser Stimm-

Fig. 17 (nach Henle-Merkel).

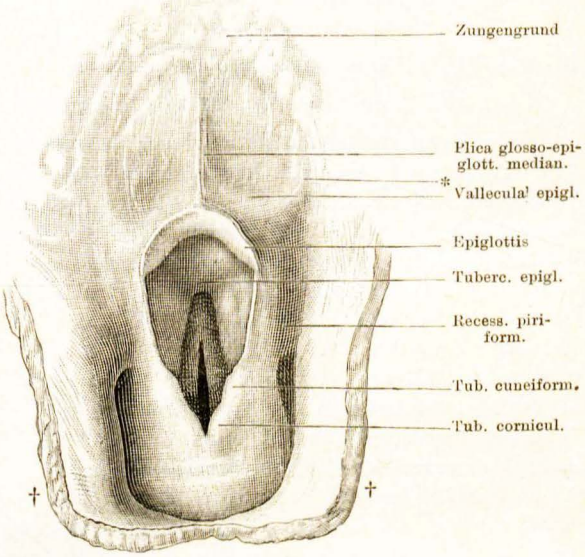


Medianschnitt des Kehlkopfes.

lippen liegt der Musculus thyreo-arytaenoideus internus, den wir schon kennen gelernt haben. Es ist klar, daß bei Erschlaffung dieses Muskels die Stimmlippen dünn sind, daß dagegen bei seiner Kontraktion eine kräftige Rundung derselben eintreten muß. Fig. 17 zeigt den Kehlkopf von der Seite her in der Mittellinie aufgeschnitten. Die einzelnen Bezeichnungen der Teile sind aus der Figur deutlich ersichtlich. Blicken wir noch einmal auf Fig. 16, und denken wir uns, ein Auge sähe direkt von oben in die Hohlröhre des Kehlkopfes hinab, so zeigt sich deutlich, daß die Taschenbänder den am weitesten seitwärts gelegenen Teil der oberen Stimmbandflächen, die ja im wesentlichen

horizontal sind, verdecken müssen, so daß nur der mittelste Teil der Stimmbänder dem Auge sichtbar wird. Wenn wir demnach direkt

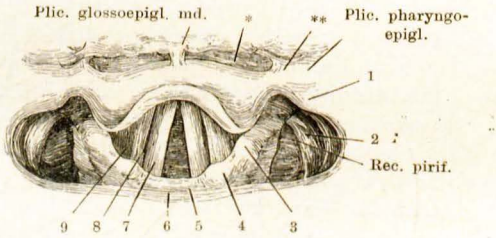
Fig. 18 (nach Henle-Merkel).



Gegend des Kehlkopfeinganges, von oben.

* Verbindungsfalte von Arcus pharyngo-epiglotticus zur Zunge (Plica glosso-epiglottica lateralis). †† Aufgeschnittene und zurückgeklappte Pharynxwand.

Fig. 19 (nach Henle-Merkel).



Mit dem Kehlkopfspiegel aufgenommenes Bild des Kehlkopfeinganges.

1 Wölbung, dem großen Zungenbeinhorn entsprechend. 2 Desgleichen über dem oberen Horn der Cart. thyreoidea. 3 Desgleichen über der Cart. cuneiformis (Tub. cuneif.). 4 Desgleichen über der Cart. corniculata (Tub. cornic.) 5 Plica interarytaenoidea. 6 Hintere Wand des Pharynx. 7 Lab. vocale. 8 Ventr. laryngis. 9 Plica ventricular. * Vallecula epiglottica. ** Plica glossoepiglott. lat.

von oben her den Kehlkopfeingang ansehen, so sieht er so aus, wie es Fig. 18 zeigt, die einen Horizontalschnitt direkt über dem Zungengrunde darstellt. Zur Vervollständigung der Anschauung geben wir noch das Bild (Fig. 19) des Kehlkopfeinganges, das sich in dem Spiegel beim Laryngoskopieren zeigt.

B. Die Physiologie der Atembewegungen beim Sprechen.

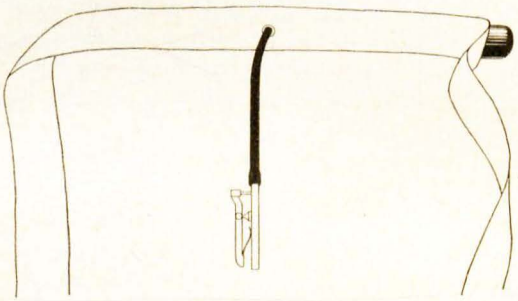
1. Zur Registrierung der Atembewegungen.

Die Atmung in der Ruhe geht durchaus automatisch vor sich und hängt von der Unversehrtheit einer bestimmten Stelle im verlängerten Mark am Boden des vierten Ventrikels ab. Die Ruheatmung zeigt eine sehr gleichmäßige Bewegung, Ein- und Ausatmung lösen sich in regelrechter Folge ab, vorausgesetzt, daß der Mensch von keiner besonders starken Erregung ergriffen ist. Sowie aber irgendwelche äußeren Einflüsse auf seine Psyche sich geltend machen, sei es nun in der Form der Affekte, sei es auch darin, daß seine Aufmerksamkeit durch irgend etwas Neues erregt wird, ändert sich der Typus der Atmung. Offenbar sind es dann besondere, vom Gehirn aus auf das Rückenmarkzentrum einwirkende Einflüsse, welche den normalen, regelrechten Typus der Ruheatmung verändern. Dieser Umstand ist dazu benutzt worden, um aus den Veränderungen, die sich in den noch zu besprechenden Atmungskurven geltend machen, bestimmte Rückschlüsse zu ziehen, und ein Teil der experimentellen Psychologie baut sich auf diesen Erscheinungen auf.

Da es für die Physiologie der Atmung beim Sprechen durchaus erforderlich ist, einen genauen Einblick in die Atmungsvorgänge zu gewinnen, so dürfen wir uns bei diesem Bestreben nicht allein auf die bloße Beobachtung verlassen, sondern müssen durch objektive Untersuchungsmethoden diese Erkenntnis zu erreichen suchen. Es würde zu weit führen, hier alle Apparate anzugeben, welche für die graphische Darstellung der Atembewegungen vorgeschlagen und benutzt worden sind. Es möge nur kurz an die Pneumographen von Paul Bert, Marey, Rousselot, Pick und verschiedene andere erinnert werden. Gerade weil die psychischen Einflüsse sehr leicht imstande sind, die Atmung in ihrem normalen Ablaufe zu stören, wird man bei solchen Untersuchungen gut tun, stets solche Apparate anzuwenden, welche möglichst ohne jegliche Behinderung angelegt werden können und die keinerlei

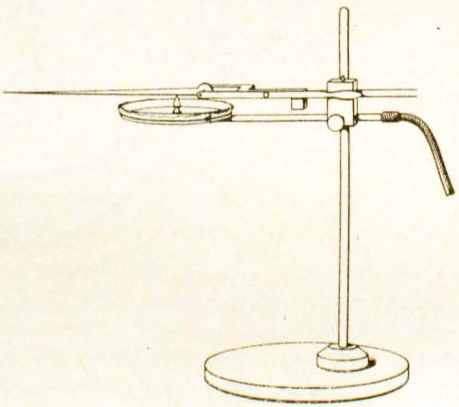
Vorsicht in bezug auf die Haltung und Bewegung von seiten des zu Untersuchenden erfordern. Ich habe mich daher zu meinen Untersuchungen seit Jahren des von mir angegebenen sogenannten Gürtelpneumographen bedient. Derselbe ist im wesentlichen

Fig. 20.



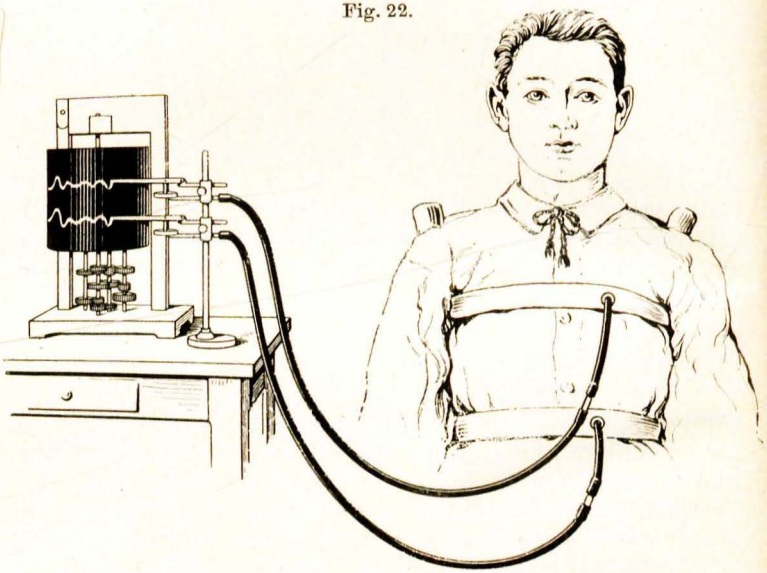
nichts weiter als ein ungefähr 2 cm Lumendurchmesser haltender Schlauch aus schwarzem Gummi, der allseitig geschlossen ist und nur in der Mitte eine kleine Ableitungsröhre trägt, die in Verbindung mit einer Schreibkapsel steht. Der Schlauch wird durch ein unelastisches Gurtband an der Oberfläche des Brustkorbes bzw. des Bauches gürtelartig fixiert. Ändert sich der Brustumfang, so drückt er auf den Gummischlauch, und dieser Druck wird auf die Schreibkapsel übertragen; wird der Umfang wieder kleiner, wie bei der Ausatmung, so läßt der Druck in dem Gummischlauch nach, was sich ebenfalls auf den Schreibhebel überträgt. Fig. 22 gibt ein klares Bild von dem Vorgange einer solchen pneumographischen Aufnahme. Die Schreibkapsel selbst ist eine

Fig. 21.



mit einer Gummimembran überzogene Hohlpfanne; die Bewegungen der Gummimembran, welche den Druck der im Gummischlauch enthaltenen Luft anzeigen, werden in einfacher Weise auf den mit dem Zentrum der Gummimembran verbundenen Schreibhebel übertragen. Die Übertragung der Atmungsbewegungen sowohl von der Brust- wie von der Bauchatmung ist auf diese Weise einfach und geschieht so sicher, daß man den Gürtelpneumographen sogar über einer leichten Kleidung anlegen kann. Um besonders auf die Unterschiede zwischen der Ruhe- und der

Fig. 22.



Sprechatmung zu achten, ist es ferner notwendig, nicht eher die Sprechkurven aufzunehmen, als bis die Ruheatmung ein ganz gleichmäßiges Verhalten zeigt; denn nur dann sind wir sicher, daß in der Tat der zu Untersuchende keinerlei psychische Alteration seiner Atmungskurve aufweisen wird. Da derartige Alterationen besonders durch optische und akustische Reize entstehen, wird auch bei diesen Untersuchungen zu beachten sein, daß man sich mit dem zu Untersuchenden an einem möglichst ungestörten Orte befindet, und daß die Zeitaufnahme durch einen Chronographen, der ja stets hörbar ist, erst nachträglich der Atmungs-

kurve hinzugefügt wird. Die Bewegungen des Schreibhebels werden in bekannter Weise auf das über eine Kymographiontrommel gespannte berußte Papier übertragen, so wie es die Figur zeigt.

Was die Ausmessung der Kurven anbetrifft, so geben nur zeitliche Differenzen und relative Vergleichungen der Hubhöhe des Schreibhebels in der Ruhe- und Sprechatmung derselben Kurve das Material zur Beurteilung der einzelnen Kurven ab.

2. Die Sprechatmung.

Die Sonderart der Atembewegungen beim Sprechen war den Physiologen nicht entgangen. Trotzdem ist nur wenig Genaueres darüber in den physiologischen Lehrbüchern enthalten, und auch die speziellen Physiologen der Sprache beschäftigen sich viel ausführlicher mit der Stimmbildung und der Artikulation als mit der Atembewegung beim Sprechen. Immerhin ist in den meisten Lehrbüchern der Sprachphysiologie einiges über diesen Gegenstand mitgeteilt.

Schon Kempelen, dessen bewunderungswürdige Beobachtungsgabe der graphischen Methodik fast entraten konnte, hebt den eigentümlichen Gegensatz der Sprechatmung zur Ruheatmung ausdrücklich hervor. Er sagt: „In den Zwischenräumen und Absätzen der Rede holt man geschwinde Atem, und wenn die Lunge einmal gefüllt ist, so wird die Luft, die sich in eine Stimme verwandeln und durch verschiedene Hindernisse durchdrängen muß, nur langsam herausgelassen, es bleibt also die Lunge eine längere Zeit mit Luft gefüllt als ausgeleert.“ Merkel unterscheidet in seiner Anatomie und Physiologie des menschlichen Stimm- und Sprachorgans (1857) nahezu ein Dutzend verschiedener phonischer Exspirationsarten und betont auch in seiner 1866 erschienenen Physiologie der menschlichen Sprache noch, daß der lange Exspirationsstrom im Sprechen vorwiegend von der Verengerung der Ausflußöffnung durch Phonationsenge und Artikulationshemmnisse bewirkt sei, so daß gleichsam die eigenartige Sprechexspiration, die so überaus charakteristisch bei jeder Atmungskurve ins Auge fällt, mehr der Ausdruck der Passivität der Atmungsmuskulatur als die Darstellung der langsam harmonisch abgestuften Ausatmungsbewegung sein müßte. Nicht mehr dieser Anschauung ist Sievers in seinen Grundzügen der Phonetik (1893), indem er folgendes über die Respirationsverhältnisse ausführt: „Beim Atmen wird die Luft unter wesentlich gleichen Druckverhältnissen und in gleichen Zeiträumen langsam und gleichmäßig eingezogen und ausgestoßen, beim Sprechen wird dagegen zunächst durch einen raschen Hub des Brustkastens ein größerer Vorrat von Luft schnell in die Lungen eingeführt. Die Ausatmung geschieht mehr in abgebrochenen einzelnen Stößen von verschiedener

Dauer und sehr verschiedener Druckstärke. Von dieser letzteren hängt dann wieder die Intensität der einzelnen sprachlichen Gebilde ab, welche in den betreffenden Momenten hervorgebracht werden. Dabei ist indessen nicht zu übersehen, daß die Druckstärke, mit welcher die Luft aus den Lungen in das Sprachorgan eingetrieben wird, doch nicht mehr allein maßgebend ist für die Intensität des spezifischen Klanges eines Lautes. Bei einem Laute wie *f* wirkt z. B. der Exspirationsstrom mit voller Stärke auf die ihm an den Lippen und Zähnen entgegengestellten Hemmnisse ein, und das Reibungsgeräusch des *f* ist daher entsprechend kräftig. Anders bei *w*. Bei diesem Laute wirkt die Stimme mit. Durch den Widerstand, welchen der Exspirationsstrom hier bereits im Kehlkopf findet, wird ihm ein Teil seiner Kraft geraubt, das Reibungsgeräusch des *w* ist daher bedeutend schwächer als das eines *f*, welches mit gleichem Druck von seiten der Lungen aus gebildet wird. Man muß diese durch sekundäre Einflüsse veränderte Exspirationsintensität streng von der primären Kraft des Exspirationsstromes unterscheiden."

Am ausführlichsten und bis jetzt erschöpfendsten geht Grützner in seiner vortrefflichen Physiologie der Stimme und Sprache auf die Atmung ein. Er hebt hervor, daß die Kräfte, welche der Ausatmungsluft die nötige Spannung und Geschwindigkeit erteilen, teils elastische, dem Willen nicht unterworfene, teils willkürliche, auf der Tätigkeit der Exspirationsmuskeln beruhende sind und weist darauf hin, welch unendlich vieler Abstufungen der komplizierte Bewegungsmechanismus der Atmung fähig ist, je nachdem unsere Stimme weithin schallen oder nur in nächster Nähe verstanden werden soll. Er weist ferner mit Recht auf das eigenartige Verhältnis der Antagonisten bei der Atmungsmuskulatur hin, die offenbar die Abmessung des Typus der Atmung ermöglichen. Dieses gegenseitige sorgfältige Abwägen der Muskeltätigkeit, sagt Grützner ferner, sei von der größten Bedeutung. Das zeige sich am besten dann, wenn wir aus irgendwelchen Ursachen gezwungen seien, häufiger zu atmen, wenn wir z. B. rasch und anhaltend gelaufen sind; dann können wir nur einen kleinen Teil der Exspirationsluft zur Sprache verwenden und sind schon nach sehr kurzer Zeit genötigt, neu einzuatmen: wir können daher nur wenige Worte in einem Atemzuge sprechen, während wir bei gewöhnlicher ruhiger Atmung ganze Sätze mit der nötigen Hebung und Senkung der Stimme zu produzieren vermögen. Besonders dankenswert und in vieler Hinsicht anregend ist Grützners Bemerkung an dieser Stelle, daß auch krankhafterweise durch Beeinflussung der Atmung eine kupierte Sprache entsteht, wenn infolge zentraler Erkrankungen (der Medulla oblongata) die Tätigkeit der In- und Exspirationsmuskulatur nicht harmonisch ineinandergreift. Ausdrücklich weist er auf das Stottern hin, das er mit Kussmaul als spastische Koordinationsneurose bezeichnet. „Hier geraten die zentralen koordinierten Kräfte schon bei geringen, z. B. gemütlichen Störungen aus ihrem labilen Gleichgewicht und vernichten den gleichmäßigen Fluß der Sprache."

Daß aber die Beobachtung allein, die bloße Inspektion und Palpation nicht ausreicht, um sich über einzelne Phasen der Bewegung zu unterrichten, gilt nicht nur für die Ruheatmung, sondern noch viel mehr für die Sprechatmung. Schon bei der Beobachtung der Ruheatmung sind, bevor die graphische Darstellung verwendet wurde, widersprechende Darstellungen zutage getreten. So führt z. B. Ludwig in seiner Physiologie des Menschen ausdrücklich an, daß in der Ruheatmung die Einatmung gemeiniglich etwas länger daure als die Ausatmung, und beschreibt eine Atempause in der Ruheatmung. Beides ist, wie wir aus den Mareyschen Darstellungen und aus den Kurven Paul Berts und vieler anderer wissen, nicht richtig. Immerhin können wir einiges durch bloße Beobachtung und auch Selbstbeobachtung über die Unterschiede der Sprech- und Ruheatmung ohne weiteres feststellen, was für die Auffassung unserer Atmungsbewegungen von sehr wesentlicher Bedeutung ist, und was von den Sprachphysiologen bisher nur wenig beachtet wurde.

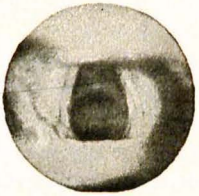
Zunächst ist ohne weiteres sehr wahrnehmbar, was bereits bekannt war und von Kempelen und allen übrigen Sprachphysiologen angeführt wird, daß die Atmung beim Sprechen sich sehr wesentlich dadurch von der in der Ruhe unterscheidet, daß die Inspirationen sehr kurz, die Exspirationen außerordentlich lang sind. Hermann von Meyer weist darauf hin, daß durch diese Art des Atmungstypus eine kontinuierliche, außerordentlich lange Exspiration zustande käme, das heißt die für das Sprechen zweckmäßigste Art der Atmung.

Worauf weit weniger geachtet worden ist, und was doch von sehr wesentlicher Bedeutung ist, das ist der Weg der Atmung. Beobachten wir einen Sprecher, der nicht nur kurz Antworten auf Fragen gibt, sondern der z. B. einen längeren Vortrag hält, so bemerken wir, daß die Inspirationen stets durch den offenen Mund geschehen. Diese rein orale Atmung während des Sprechens ist so charakteristisch, daß selbst ganz kleine Kinder, sowie sie ein Verschen oder ein kurzes Gebet aufzusagen vermögen, diesen Typus der Atmung deutlich zeigen. Offenbar ist er aus der ersten Schreiatmung entstanden; denn wir sehen schon, daß der Säugling, der in der Ruheatmung, so wie das normal ist, durch die Nase ein- und ausatmet, beim Schreien den Mund während der Inspirationen weit öffnet. Wenn daher

Vorschriften für die Atmung beim Sprechen oder Singen gegeben werden und in diesen Vorschriften eine nasale Atmung empfohlen wird, so findet diese Empfehlung keine Begründung in der physiologischen Beobachtung.

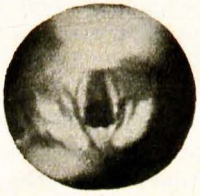
Endlich ist von Wichtigkeit, daß wir die Inspirationen beim Sprechen nicht nur schnell, sondern auch ohne jedes Geräusch vollführen, ein Umstand, der wesentlich dadurch zustande kommt, daß alle dem Inspirationsstrom entgegenstehenden Hemmnisse nicht nur durch den weit geöffneten Mund, sondern auch durch die bei der tiefen Sprechinspiration weit auseinanderklaffenden Stimmbänder aus dem Wege geräumt sind. Zahlreiche Stimmstörungen entstehen durch Verstoß gegen diese physiologische Regel. Wird zum Sprechen tief eingeatmet, so zeigt das Kehlkopfbild eine deutliche Wirkung der Musculi crico-arytaenoidei postici. Die beigegebene Photographie (Fig. 23), die von meinem eigenen Kehlkopf durch Herrn Kollegen Musehold aufgenommen worden ist, zeigt das charakteristische Ausbuchten oder Knicken der Stimmbänder an den Processus vocales, während Fig. 24 ungefähr die Mittelstellung der Stimmbänder bei In- und Exspiration der Ruheatmung zeigt.

Fig. 23.



Einatmung zum Sprechen.

Fig. 24.



Einatmung und Ausatmung in der Ruhe.

Von den genannten drei Merkmalen ist ferner in bezug auf das ersterwähnte, die lange Exspiration, noch besonders darauf zu verweisen, daß die Exspiration während längeren Sprechens oder Vorlesens durchaus nicht kontinuierlich statt zu haben braucht, sondern daß sie in verschiedene Exspirationsstrecken zerfallen kann, zwischen denen keine Inspirationen stattfinden. Stellen wir mit einem kurzen senkrechten Strich die Inspiration, mit langem wagerechten die Exspirationen dar, so ist das Bild der Sprechatmung demnach nicht nur durch einen kurzen

Fig. 26 zu S. 23.

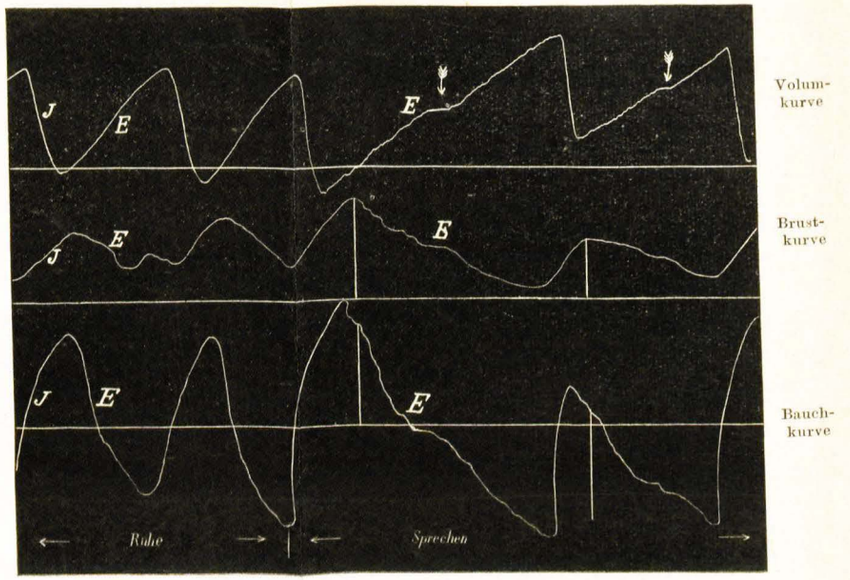


Fig. 27 zu S. 26.

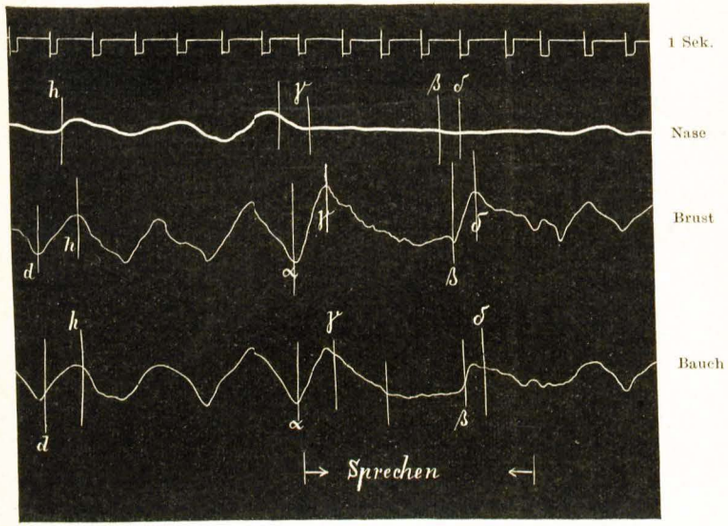


Fig. 28 zu S. 27.

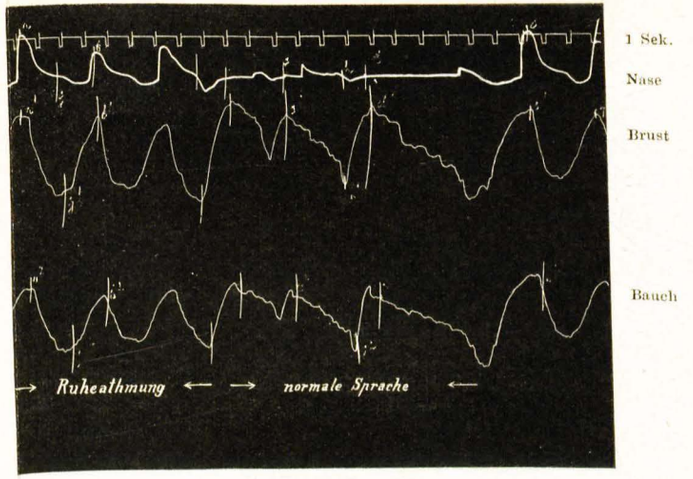


Fig. 29 zu S. 27.

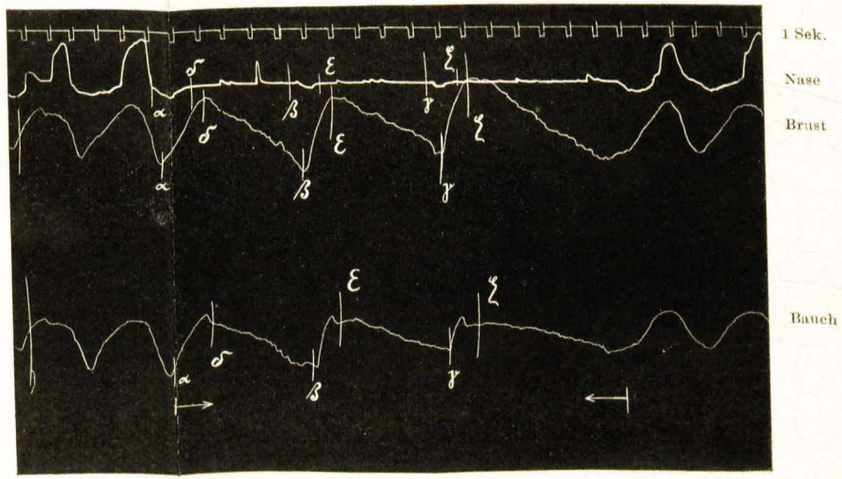
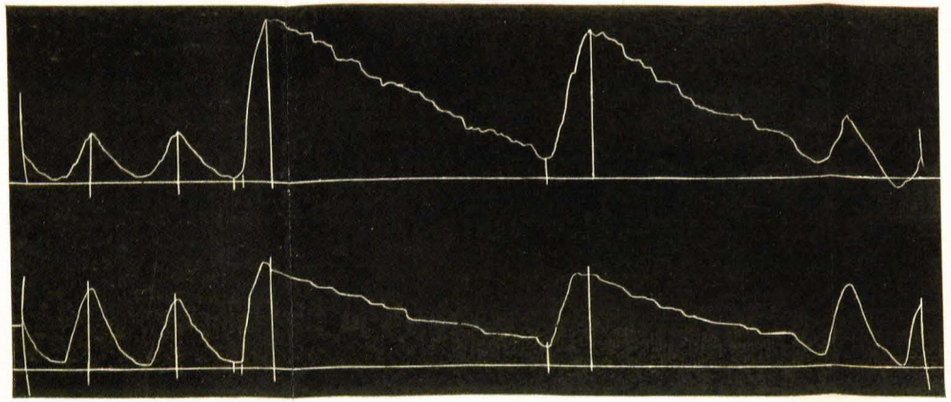


Fig. 30 zu S. 27.

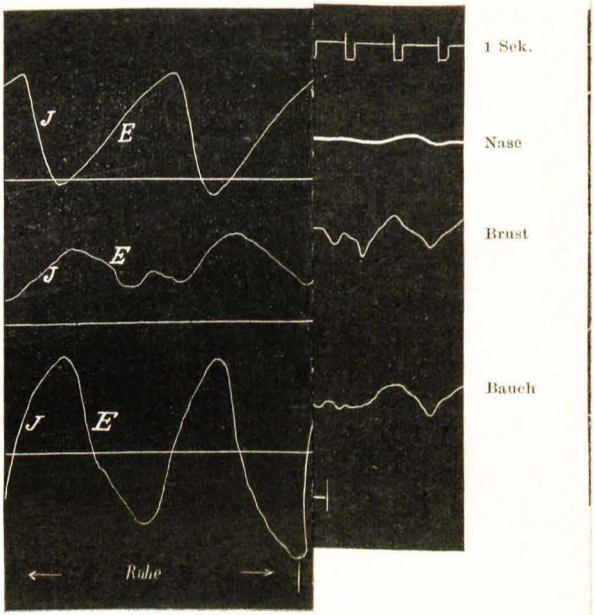


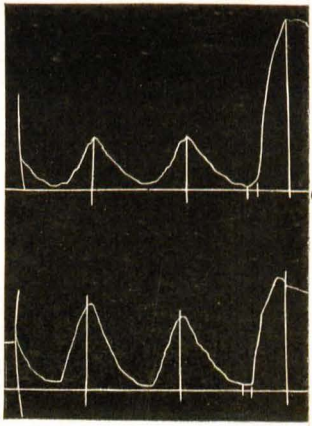
Registrierung

der

Atembewegungen beim Sprechen.

Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.





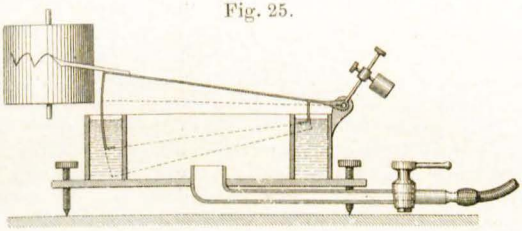
en.



senkrechten und einen langen wagerechten Strich wiedergegeben, sondern bei längerem Vorlesen müßten wir diesen wagerechten Strich in verschiedene Absätze zerteilen:

Die Pausen, in denen die Atembewegung weder in- noch exspiratorisch ist, in denen ein Stillstand des gesamten Sprechapparates in einer bestimmten Stellung statt hat, treten an den Stellen der Rede ein, bei denen der Sinn eine kurze Pause verlangt, wo aber, da noch genügend Luft vorhanden ist, eine neue Einatmung noch nicht notwendig erscheint. In sehr schöner Form kann man dies Verhalten wahrnehmen, wenn man eine Volumkurve der in- und exspirierten Luft mittels des Gadschen Atemvolummessers, dessen Konstruktion aus Fig. 25 ersichtlich

Fig. 25.



ist, aufschreiben läßt. Die beigegebene Kurve (Fig. 26) stammt von einem normalsprechenden 30jährigen Manne, an dem, bevor diese Kurve gewonnen wurde, eine größere Anzahl von Atmungsversuchen bereits gemacht worden waren, so daß er durch die Versuche in keiner Weise mehr irritiert wurde. Daher sehen wir auch, daß die Ruheatmung sehr langsam vor sich geht. Die Stellen, an denen bei der Rede eine Pause gemacht wurde, ohne daß eine neue Inspiration erfolgte, und ohne daß die Exspiration ohne sprachliche Verwendung weiterging, zeigen sich allerdings auch in der mittels des Gürtelpneumographen aufgenommenen Brust- und Bauchkurve, aber sie markieren sich in diesen Kurven nicht annähernd so scharf wie gerade in der Volumkurve, in der sie sich durch einen nahezu wagerechten Strich deutlich anzeigen. Ungemein häufig wird gegen diese Norm der exspiratorischen Atemverteilung gesündigt, indem an den betreffenden Pausen von neuem kleine Luftmengen eingeschöpft werden.

Von großer Wichtigkeit für die vollständige Erkenntnis der Sprechatmungsbewegungen ist ferner die gesonderte Betrachtung der thoracalen und abdominalen Atmungsbewegungen. Es liegt mir fern, hier auf die Tätigkeit der einzelnen Muskelgruppen des näheren einzugehen. Nur insofern müssen wir die Verschiedenheiten der thoracalen und abdominalen Bewegungen in Betracht ziehen, als diese beiden Bewegungsarten in durchaus verschiedener Beziehung zu unserer Willenstätigkeit stehen.

Die thoracale Bewegung kann uns jederzeit direkt zum Bewußtsein kommen, da wir sie fühlen und sehen können. Wir fühlen mit der aufgelegten Hand die Hebungen und Senkungen der Rippen, wir sehen sie, wir fühlen sie auch, ohne daß wir sie palpieren, durch das infolge der Gelenkverbindungen der Rippen sehr ausgeprägte Muskel- und Lagegefühl und durch die Spannungsverschiedenheiten der über den Rippen liegenden Brusthaut. Die direkte Beobachtung der Zwerchfellbewegungen dagegen ist bekanntlich nicht möglich [1]). Die Zwerchfellbewegungen nehmen wir nur sekundär durch das Vorwölben der Bauchdecken wahr, das ja bekanntlich ganz passiv erfolgt; im Zwerchfell selbst haben wir keine Spur von Bewegungsempfindungen oder Muskelgefühl. Aus der Atmungsbewegung allein könnten wir uns auch niemals ein direktes Bild, eine Vorstellung von der Zwerchfellage und Bewegung machen, wenn wir nicht anatomische Kenntnisse über diese Verhältnisse auf irgend eine Weise erworben hätten. Daher kommt es, daß Laien, die über Atmungsbewegungen geschrieben haben, so besonders Gesanglehrer, so vielfache Irrtümer in ihren Darstellungen bringen. Sie lassen direkte Zwerchfellbewegungen üben und glauben dies dadurch zu bewerkstelligen, daß sie die Muskeln des Bauches in Tätigkeit setzen. So aber können wir niemals zum Bewußtsein unserer Zwerchfellbewegungen gelangen! Wenn wir eine Regulation derselben zustande bringen wollen, so kann dies nur dadurch geschehen, daß wir die seitlichen kostalen Bewegungen willkürlich machen und unter der Kontrolle derselben auf die Zwerchfellbewegung schließlich einwirken.

Wie man aus dieser Darstellung sieht, besteht also neben den allbekannten mechanischen Unterschieden der beiden Atmungstypen, des kostalen und abdominalen, auch ein psychischer Unterschied: die kostalen Bewegungen stehen mehr unter unserem Willenseinfluß, mehr unter der Einwirkung der zerebralen Atemzentren als die abdominalen. Daher kommt es, daß bei tiefer und forcierter Atmung bei beiden Geschlechtern die Erweiterung des Brustraumes vorwiegend durch starke Erhebung des Brust-

[1]) Höchstens am Leberschatten des Röntgenbildes.

korbes und der Rippen bedingt wird [Ludwig[1]), Landois[2]), Hutchinson, Ransome[3]) u. v. a.]. Es muß deshalb von vornherein angenommen werden, daß beim normalen Sprechen die zerebrale Einwirkung auf den Automatismus der Atmung vorwiegend die kostale Bewegung betrifft; denn es ist ein allgemeines Gesetz, daß diejenigen Körperbewegungen am meisten unter der Herrschaft unseres Willens stehen, deren Lageveränderungen wir durch Muskelgefühle, Berührungsgefühle, Lagegefühle oder auch durch andere Sinne (Auge und Ohr) am besten zu kontrollieren imstande sind. Am Zwerchfell fällt, wie gesagt, solche Kontrolle vollkommen fort, da dasselbe kein merkliches Muskelgefühl besitzt und auch nicht direkt durch andere Sinne kontrolliert werden kann. Diese a priori anzunehmende Unterscheidung habe ich mich bemüht durch eine große Anzahl von Versuchen auf ihre Richtigkeit zu prüfen und eventuell empirisch zu bestätigen.

Schon die ausführlichen Untersuchungen von Riegel unterschieden die kostalen und abdominalen Bewegungen sehr genau. Mosso hat dann in einer größeren Untersuchungsreihe, besonders um den sehr wesentlichen Einfluß des Willens auf Rhythmus und Mechanismus der Atembewegungen auszuschließen, die Atembewegungen an Schlafenden registriert. Auf seine Ergebnisse ist hier keine Veranlassung näher einzugehen; nur die Deutung, die er für das Verhältnis der beiden Kurven gibt, und die ich voll auch für meine Kurven in Anspruch nehme, ist hier wichtig. Besonders das, was er über die sich mehr oder weniger deutlich zeigende Inkongruenz der Brust- und Bauchkurven sagt, verdient Beachtung. Er hebt hervor, daß die respiratorischen Exkursionen der Bauchwand nicht ausschließlich von dem abwechselnden Spiele des Zwerchfelles und der Bauchpresse abhängen, sondern auch von den Bewegungen des Brustkastens, deren Einfluß in dieser Hinsicht diametral entgegengesetzt sei. Es würden daher, wenn der Einfluß beider Faktoren gleich ist, die Bauchwandungen vollkommen stillstehen, wie energisch sich auch das Zwerchfell und der Thorax bewegen mögen. „Bei überwiegendem Einfluß der Brustbewegungen wird die Bauchwand während der Inspiration sinken, während der Exspiration steigen, ganz als ob das Zwerchfell gelähmt wäre“ [4]).

In den sehr genauen Untersuchungen von Zoneff und Meumann[5]) zeigte sich mehrfach bereits sehr deutlich, daß ein wesentlicher Unterschied zwischen den Begleiterscheinungen der sinnlichen und denjenigen der intellektuellen Aufmerk-

---

[1]) Physiologie des Menschen **2**, 312, 1856.

[2]) Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 10. Aufl., 1900, S. 224.

[3]) A. Ransome, Observations upon the Movements of the Chest. Journal of Anatomy and Physiology **3**, 140 bis 146, 1868.

[4]) Angelo Mosso: Über die gegenseitigen Beziehungen der Bauch- und Brustatmung. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1878, S. 441 u. f.

[5]) Wundts Philos. Stud. **18**, 1, 24 u. 57.

samkeit in den Kurven sich aussprach: bei der ersten wurde der Atem fast vollständig gehemmt, während bei der zweiten der Atem nur partiell oder gar nicht gehemmt war. Auch zeigte sich, daß während der Aufmerksamkeitsspannung die abdominale Atmung wenig geändert wurde, während die Ordinate der thoracalen Atmung abgekürzt wurde. Die Autoren bemerken dazu: „Es zeigt sich übrigens, daß alle Gefühlsreaktionen dieser oder jener Art (Lust- und Unlustgefühle) mehr Änderungen in der thoracalen Atmung bewirken, und daß sich die abdominale Atmung nur in geringerem Maße verändert."

Besonders die Mossoschen Arbeiten regten mich zu Untersuchungen über die Physiologie der Sprechatmung an, und das Resultat dieser Untersuchungen mag hier an einigen Kurvenbeispielen dargestellt werden.

Die erste Kurve (Fig. 27) stammt von einem vierjährigen normalsprechenden gesunden Mädchen. Die Zeitregistrierung wurde, wie bei allen Kurven, erst nach der Aufnahme aufgeschrieben. Die erste Kurve gibt die Atembewegung der Nasenluft an, die ich so aufschreiben ließ, daß ich einen Schlauch nicht luftdicht mit einer Nasenöffnung verband. Es wurde dann bei jeder Inspirationsbewegung der Schreibhebel ein wenig nach unten gezogen, schnellte aber, da ja keine luftdichte Verbindung vorhanden war, gleich wieder in seine Ruhelage zurück; bei der Exspirationsbewegung machte er einen Ausschlag nach oben und ging von diesem ebenfalls wieder in seine Ruhelage zurück. Die zweite Kurve gibt die Bewegungen der Brust, die dritte die des Abdomens an. Bei der Feststellung der synchronen Punkte zeigt sich, daß in der Ruheatmung die Bewegungen der Brust- und der Bauchatmung nahezu synchron sind. Nur kleine Abweichungen sind hier und da vorhanden. Das stimmt mit den Riegelschen Untersuchungen im Gegensatz zu den Mossoschen Resultaten überein. Sowie nun aber das Kind ein auswendig gelerntes Gedichtchen spricht, ändert sich das Verhalten der Kurve, und es zeigt sich, daß entsprechend der oben angeführten Mossoschen Kurvenerklärung die thoracale Kurve überwiegend beeinflußt ist; denn sie steigt noch, während die abdominale Kurve bereits fällt. Dadurch ergibt sich während des Sprechens ein Anachronismus der Kurve. Außerdem zeigt die Kurve recht klar, daß während der Sprechatmung durch den Mund geatmet

wird; denn die Nasenkurve hört während des Sprechens fast völlig auf, und der Schreibhebel zeichnet einen nahezu geraden Strich.

Dieses Resultat konnte ich nun durch zahlreiche weitere Untersuchungen bestätigen. Es mag als ferneres Beispiel für dies Verhalten die Kurve eines zehnjährigen normalsprechenden Knaben gegeben sein. Auch hier zeigt sich nicht nur durchaus der ersten Kurve entsprechend der normale Anachronismus während der Sprechatmungsbewegungen, sondern auch das Aufhören der Nasenkurve. Diese zeigt nur hin und wieder kleine Elevationen, die offensichtlich die im Sprechen vorkommenden Nasallaute anzeigen.

Ebenso finden wir dies bei der Kurve eines anderen normalsprechenden Knaben gleichen Alters (Fig. 29). Endlich gebe ich noch die Brust- und Bauchatmungskurve eines normalsprechenden Mannes von 40 Jahren wieder (Fig. 30).

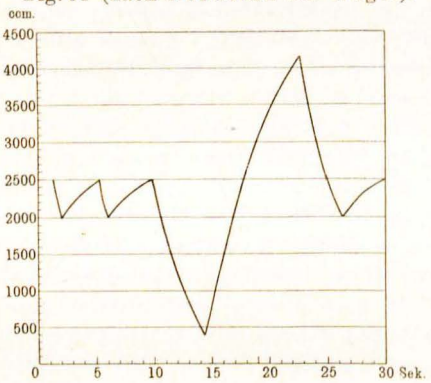
Nicht unwesentlich ist es, daß man derartige Kurven bei ganz unbeeinflußten Personen aufnimmt; denn es darf der zu Untersuchende durchaus nicht genau darüber instruiert sein, was das Endziel der Untersuchung ist. Besonders Kunstsänger und Redner, bei denen man Untersuchungen vornimmt, darf man erst nach Aufnahme der Kurve über die Bedeutung derselben eventuell instruieren; sonst machen sie, auch wenn sie sich noch so große Mühe geben, störende Bewegungen, die das Untersuchungsergebnis unter Umständen so sehr beeinträchtigen können, daß es wertlos wird. Deswegen habe ich besonders in der ersten Zeit, um das Gesetz der überwiegenden Beeinflussung der thoracalen Atmung während der Sprechbewegung festzulegen, fast nur Kinder, die mit mir näher bekannt und vertraut waren, als Versuchsobjekte benutzt. Ich habe es indes nicht versäumt, auch bei vielen Erwachsenen unter den nötigen Vorsichtsmaßregeln die Untersuchungen ebenfalls auszuführen, da mir naturgemäß daran liegen mußte, auch bei Sprech- und Gesangskünstlern solche Kurven zu gewinnen und sie gleichsam als Idealbilder der normalen Atmungsbewegung darzustellen. Hier war der normale Anachronismus der Brust- und Bauchbewegungen in ganz außerordentlichem Maße vorhanden und trat mit einer geradezu erstaunlichen Regelmäßigkeit auf. Aber nicht allein das: man sah, wie außerordentlich lang die Exspirationsbewegungen, wie kurz die Inspirations-

bewegungen andauerten, wie vorzüglich daher die eingeatmete Luft zum Gesange verwendet wurde.

Diese günstigste Koordination der Bewegungen wird nur ganz allmählich erworben. Die Schreikurven des Säuglings zeigen noch völlige Inkoordination.

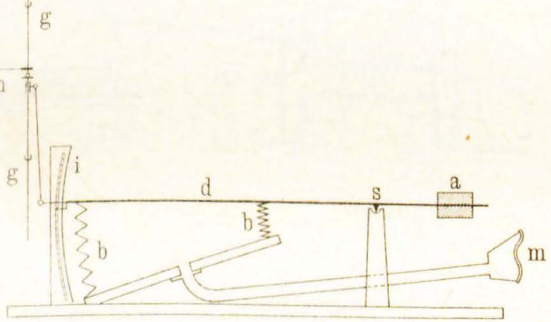
Es ist auch nicht unwesentlich, sich ein Bild davon zu machen, wie groß das Volumen der in der Ruheatmung und der in der Sprechatmung bewegten Luft ist. In der Ruheatmung pflegen wir ungefähr 500 ccm Luft bei der Ein- und Ausatmung hin und her zu schieben. Das Quantum dieser Ruheatmungsluft im Vergleich zur tiefsten Einatmung und tiefsten Ausatmung gibt Fig. 31 sehr übersichtlich wieder. Zum Sprechatmen wird gewöhnlich tiefer eingeatmet als in der Ruhe, so daß oft 1000 ccm und darüber vor dem Sprechen eingenommen werden. Die Verwendung dieses größeren Luftvolumens zu der sehr langen Sprechausatmung ist individuell außerordentlich verschieden. Es kann vorkommen, daß bei einem Sprechsatze schon im Beginn ein sehr großer Teil des eingeatmeten Volumens verloren geht und der übrige Teil der Atemluft nun auf den gesamten noch zu sprechenden Satz verwendet wird, so daß die erste Hälfte des Satzes unter viel größerem Druck gesprochen wurde als die letzte. Andererseits gibt es Menschen, die von Hause aus eine gleichmäßige Verwendung des eingeatmeten Luftvolumens vornehmen. Diese ungleichmäßige bzw. gleichmäßige Verwendung ist an den gewöhnlichen pneumographischen Kurven nicht mit Deutlichkeit zu erkennen, sehr wohl aber an einer Volumkurve. Bei dem oben mit dem Gadschen Volummesser aufgenommenen Beispiel bleibt der Winkel der Volumkurve mit dem horizontalen Nullstriche im ganzen Verlaufe fast immer derselbe, es handelt sich also dort

Fig. 31 (nach Boruttau aus Nagel).



um eine sehr gleichmäßige Verwendung der eingenommenen Luft; außerdem zeigt sich an jener Kurve, daß von der betreffenden Person zum Sprechen nicht wesentlich tiefer eingeatmet wurde als in der Ruhe. Dagegen erkennt man an den pneumographischen Kurven, wenn man sie mit der Volumkurve vergleicht, an dem verschieden steilen Abfall, daß man derartige Kurven nicht zur Schätzung des verbrauchten Volumens benutzen kann. Bei meinen verschiedenen Untersuchungen zeigte sich bald die Notwendigkeit, einen Atemvolumschreiber zu haben, der mit möglichster Leichtigkeit dem Druck der ausgeatmeten Luft folgt, und dessen Schreibung nicht im Bogen erfolgt, sondern senkrecht ist, so daß

Fig. 32.



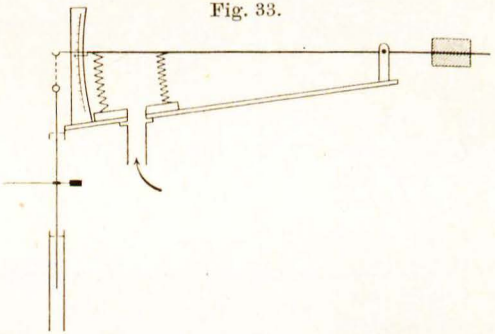
man durch die zur Abszisse gezogenen Ordinaten an jeder Stelle der Volumkurve messen kann, wieviel Luft zum Sprechen verbraucht wurde. Herr Wethlo, der längere Zeit in meinem Laboratorium arbeitete, hat auf meine Veranlassung einen derartigen, sehr leicht ansprechenden Apparat konstruiert, dessen Einrichtung im wesentlichen darauf beruht, daß ein sehr leicht konstruierter Blasebalg (*b*), dessen obere Platte durch ein Gegengewicht (*a*) vollkommen äquilibriert ist, einen senkrechten, auf einer Gleitschiene rollenden Stab (*g*) entsprechend in die Höhe hebt. Fig. 32 zeigt die nähere Einrichtung deutlich an. Eicht man die Ausschläge dieses Volummessers empirisch, so bedarf es bei der Ausmessung der Volumkurven nur der sehr einfachen

Feststellung der Ordinatenlängen, um sofort das verbrauchte Luftvolumen angeben zu können.

Ebenso hat Wethlo auf meine Veranlassung einen kleinen Volummesser (Fig. 33), dessen Ausschläge verhältnismäßig größer sind und daher größere Genauigkeit geben, für die Messung des Luftverbrauches bei einzelnen Lauten und verschiedenen Tonstärken konstruiert. Der kleine Apparat enthält etwa 150 ccm und wird an einem gewöhnlichen Stativ befestigt. Die damit erhaltenen Kurven sind überaus zierlich und — wie Kontrollversuche ergaben — sehr genau.

Anfangs benutzten wir den nach Art eines Blasebalges konstruierten, von uns mit Schreibvorrichtung versehenen Matthieu-

Fig. 33.



schen Spirometer. Dieser ist aber bei weitem zu schwer beweglich. Ähnlich diesem Volummesser scheint der von Brodie[1]) angegebene zu sein. Sehr leichte registrierende Spirometer aus dünnem, ungeleimtem und paraffiniertem Papier sind von R. F. Fuchs[2]) und R. H. Kahn[3]) konstruiert.

Über die Geschwindigkeit und das Volumen der beim Sprechen bewegten Luft hat Zwaardemaker mittels besonderer Versuchsanordnung, wobei er sich eines nach dem Prinzip der Pitotschen Röhrchen konstruierten Apparates bediente, Untersuchungen angestellt, über welche weiter unten berichtet werden wird.

[1]) Journ. of physiol. 27, 477 (1902).

[2]) Lotos 1898.

[3]) Arch. f. Physiol. 1902, S. 31. Die letzten drei Angaben entnehme ich noch bei der Korrektur dem Artikel „Atembewegungen" von F. Schenk in Tigerstedts Handb. d. physiol. Methodik 1908.

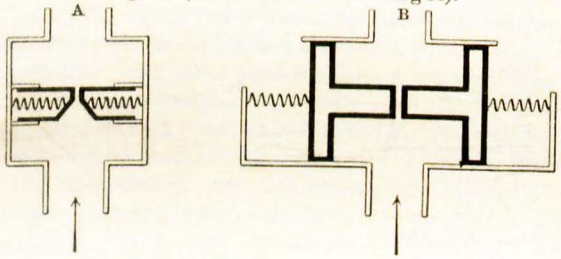
C. Stimmphysiologie.

1. Bildung der Stimme.

Die Entstehung des Tones bei dem menschlichen Kehlkopf erfolgt nicht, wie man gewöhnlich in phonetischen Lehrbüchern lesen kann, nach dem Prinzip der membranösen durchschlagenden Zungenpfeifen, sondern nach dem von Ewald in dem Heymann-schen Handbuch der Laryngologie gegebenen Prinzip der sogenannten Polsterpfeifen, welche Nagel charakteristischer als Gegenschlagpfeifen bezeichnet. Die Art, wie diese Pfeifen angeblasen werden können, ergibt sich aus der Fig. 34.

Den wichtigsten Aufschluß über die Art und Weise, wie sich die Stimmlippen bei dem Tönen bewegen, verdanken wir der von

Fig. 34 (nach Ewald aus Nagel).



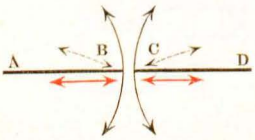
Zwei Polsterpfeifen (Gegenschlagpfeifen).

Der Pfeil gibt die Anblaserichtung an. Pfeife *A* kann nur in der vorgezeichneten Richtung angeblasen werden, *B* auch in der umgekehrten.

Oertel zuerst hierfür angewandten stroboskopischen Beobachtung. Sehr schnelle periodische Bewegungen können mittels einer stroboskopischen Scheibe oder durch mittels sonstiger Einrichtungen regelmäßig unterbrochene Belichtung in ihrer Bewegung bis ins einzelste hinein verfolgt werden. Betrachtet man einen das *a'* singenden Kehlkopf im durch die Löcher einer stroboskopischen Scheibe 435 mal in der Sekunde unterbrochenen Lichte, so sieht man die Stimmlippen stillstehen, und zwar entweder in absolutem Schluß oder in mehr oder weniger weiter Öffnung, da ja die Belichtungen des Kehlkopfbildes genau in derselben Periodizität erfolgen wie die Bewegungen der Stimmlippen. Trifft man demnach bei dieser Beobachtung zufällig auf die weiteste Öffnung der Stimmlippen, während das erste Loch den ersten Lichtblitz

auf die Lippen sandte, so wird, vorausgesetzt daß das a' ganz gleichmäßig angehalten wird, beim zweiten Lichtblitz sich dasselbe Bild ergeben müssen, da inzwischen die Stimmlippen eine volle Schwingung gemacht haben. Dasselbe ist der Fall, wenn bei dem ersten Lichtblitze die Stimmlippen völlig geschlossen sind; dann bleibt das Bild das gleiche bei allen folgenden Lichtblitzen, da ja eine volle Schwingung stets der zeitlichen Aufeinanderfolge zweier Lichtblitze synchron ist. Ändert man jedoch den Lauf der das Licht unterbrechenden stroboskopischen Scheibe, so daß sie ein wenig schneller oder ein wenig langsamer läuft, vielleicht so, daß statt 435 Lichtblitze deren 436 in der Sekunde erfolgen, so wird, immer ganz gleichmäßige Schwingungen der Stimmlippen und gleichmäßigen Lauf der stroboskopischen Scheibe vorausgesetzt, eine langsame Bewegung der Stimmlippen dem untersuchenden Auge sichtbar werden, wobei der Untersucher jede Phase der Bewegung bequem verfolgen kann. Diese von Mach herrührende Untersuchung im unterbrochenen Lichtstrahl hat nicht nur bei den Schwingungen von Membranen und Saiten ausgezeichnete Resultate ergeben, sondern ist, wie gesagt, durch Oertel auf die Beobachtung des Kehlkopfes übertragen worden. Oertel, Koschlakoff und besonders Réthi und Musehold haben dann sorgsame Untersuchungen über die Bewegungen der Stimmlippen angestellt, und aus diesen Untersuchungen ergibt sich, daß der Stimmlippenmechanismus, wenigstens bei der Erzeugung der Bruststimme, in der Art der Gegenschlagpfeifen sich abspielt.

Fig. 35.



Schwingungen der Stimmlippen nach Nagel.

Wenn in der beistehenden Fig. 35, die ich Nagels Darstellung entnehme, AB und CD die oberen Flächen der beiden Stimmlippen darstellen, so würden die Stimmlippen, wenn sie in der Art eines durchschlagenden Zungenpfeifenmechanismus schwingen würden, in der Art der gebogenen Pfeile hin und her pendeln müssen. Würden sie als reine Gegenschlagpfeifen funktionieren, so müßte das Hin- und Herschwingen in der Richtung der roten Pfeile geschehen. Nach Museholds und auch Nagels Annahme geschieht in Wirklichkeit die Schwingung ungefähr in der Rich-

tung des punktierten Pfeiles in einem nach oben konvexen flachen Bogen. Nagel ist der Meinung, daß der Hin- und Rückschwung nicht auf dem gleichen Wege erfolge, sondern daß die ganze Schwingungsbahn eine Art gestreckter Ellipse oder Schleife sei.

2. Tonhöhe und Tonstärke.

Vergleicht man Gegenschlagpfeife und Polsterpfeife *A* in Fig. 34 mit der Begrenzung der Stimmlippen in Fig. 16, so ist es klar, daß diese Pfeife, welche leicht in der exspiratorischen Richtung angeblasen werden kann, am besten den Verhältnissen des Kehlkopfes entspricht. Trotzdem ist die Darstellung der sonstigen Gesetze der menschlichen Stimmbildung am leichtesten zu studieren an einem membranösen künstlichen Kehlkopf, der, wie das von Johannes Müller zuerst ausgeführt wurde, aus einem über ein hölzernes Anblaserohr herübergezogenen dünnen Gummischlauch besteht, dessen periphere Öffnung an zwei gegenüberliegenden Stellen der Peripherie gefaßt und in die Länge gezogen wird. Auf diese Weise legen sich die Ränder parallel fest aneinander, und beim Anblasen entsteht ein Ton. Man kann leicht zeigen, daß alle Gesetze, welche Johannes Müller an dem Leichenkehlkopf gefunden hat, für diesen künstlichen Kehlkopf ebenfalls gelten:

Die Tonhöhe steigt und fällt mit der Steigerung und dem Nachlassen der Spannung.

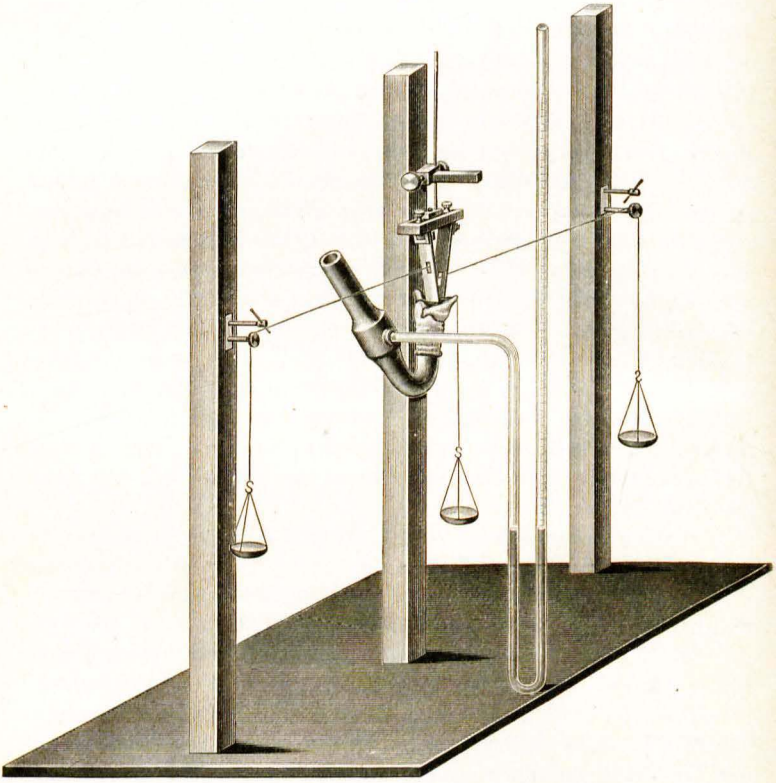
Die Tonhöhe steigt und fällt mit dem Steigern und Nachlassen des Anblasedruckes.

Die Tonstärke steht in direktem Verhältnis zur Anblasestärke.

Daß der Anblasedruck nicht nur die Tonstärke, sondern auch die Tonhöhe beeinflußt, ist übrigens auch mehrfach am lebenden Menschen gezeigt worden, wo man infolge Bestehens einer Luftröhrenfistel unterhalb der Glottis Gelegenheit hatte, diesen Druck direkt zu messen. Bei einem von Cagniard-Latour beobachteten Falle stieg der Wasserdruck bei lautem Rufen auf 945 mm, beim Singen eines mittleren Tones auf 160 mm; ging er mit dem Ton in die Höhe, ohne ihn zu verstärken, so stieg der Druck auf 200 mm Wasser, beim Flüstern betrug er 30 mm. Grützner konnte in einem ähnlichen Falle folgende Werte fest-

stellen: Bei gleichbleibender Stärke wurden die Töne *a*, *c'* und *f'* gesungen, wobei sich 142, 154, 190 mm Wasserdruck ergaben. Sang er bei gleicher Tonhöhe (*c'*) und Stärke die verschiedenen Vokale, so zeigte sich bei *a* 125, bei *e* 212, bei *i* 220, bei *o* 198

Fig. 36.



und bei *u* 200 mm Wasserdruck. Grützner bringt diese Tatsache mit der verschiedenen Größe der Mundöffnung in Zusammenhang (S. 64 und 65). Ähnliche Resultate erhielt Roudet.

Daß auch Johannes Müller trotz mannigfacher falscher Auffassungen in bezug auf das Prinzip der Gegenschlagpfeifen wenigstens bei seinen praktischen Versuchen richtig verfuhr, das

geht am besten aus der Art hervor, wie er die Wirkung der seitlichen Kompression der Stimmbänder bei der Bruststimme nachzuahmen suchte. Er benutzte dazu ein Kompressorium, dessen Wirkung deutlich aus der beistehenden Fig. 36 hervorgeht, in welcher man einen Leichenkehlkopf erblickt, wie er zur Anstellung der Müllerschen Experimente in Verbindung mit jenem Kompressorium gebracht ist. Mehrfach konnte Johannes Müller dann bereits nachweisen, daß bei Verstärkung des Druckes, den die Schenkel des Kompressoriums seitlich auf die Stimmlippen ausübten, der Ton höher wurde. Allerdings trat das nicht immer ein.

Die Untersuchungen, die Ewald anstellte, indem er die Stimmlippen durch zwei Froschmuskeln nachahmte und nun nach dem Anblasen dieser Stimmritze durch einen Induktionsstrom die Kontraktion erhöhte, ergaben, daß der Ton in dem Momente der Muskelreizung in die Höhe ging; das gleiche konnte Nagel bei ähnlichen Versuchen feststellen, indem er einen M. sartorius des Frosches als einlippige Pfeife verwandte. Die von Johannes Müller mit seinem Kompressorium gewonnene Tabelle der Tonerhöhung mit zunehmendem Seitendruck der Stimmlippen ist in Rücksicht dieser neueren Versuche so interessant, daß ich sie hier wiedergebe (J. M., S. 31):

Spannung der Stimmbänder	Töne	Druck auf die Bänder jeder Seite	
0	*h'*	6,25 Lot	inkl. 0,25 Lot Gewicht der Schale und der Schnur
0	*a'*	5,75 „	
0	*g'*	5,25 „	
0	*f'*	4,75 „	
0	*dis'*	4,25 „	
0	*d'*	3,75 „	
0	*cis'*	3,25 „	
0	*h*	2,75 „	
0	*a*	2,25 „	
0	*g*	1,75 „	

Die Müllerschen Versuche haben für den Gesang, besonders in Rücksicht auf die Übungen des An- und Abschwellens eines Tones, wobei nach Möglichkeit darauf geachtet wird, daß

kein Detonieren eintritt, auch heute noch eine große Bedeutung. Er zeigte, wie gleiche Töne, die an Stärke zunehmen, was ja, wie wir oben betonten, der Anblasestärke proportional ist, in bestimmter Weise an Spannung abnehmen müssen, und zwar sowohl bei der Falsett- wie bei der Bruststimme. Von seinen Tabellen seien hier einige erwähnt (J. M., S. 27 ff.):

Falsettstimme.

Gleiche Töne, an Stärke zunehmend	Abnehmende Spannung Lot	Zunehmender Luftdruck, Wassersäule v. Par. Zoll	Gleiche Töne, an Stärke zunehmend	Abnehmende Spannung Lot	Zunehmender Luftdruck, Wassersäule v. Par. Zoll
piano *cis''* . . .	4	$3\frac{1}{2}$	piano *c''* . . .	4	$2\frac{1}{2}$
cis'' . . .	2	4	*c''* . . .	2	3
cis'' . . .	1	6	*c''* . . .	1	4
forte *cis''* . . .	$\frac{1}{2}$	8	forte *c''* . . .	$\frac{1}{2}$	5
piano *cis''* . . .	4	$3\frac{1}{2}$	piano *c''* . . .	4	3
cis'' . . .	2	5	*c''* . . .	2	4
cis'' . . .	1	$5\frac{1}{2}$	*c''* . . .	1	5
forte *cis''* . . .	$\frac{1}{2}$	7	forte *c''* . . .	$\frac{1}{2}$	6
Bruststimme.					
piano *h*	4	6	piano *c''* . . .	4	$5\frac{1}{2}$
h	2	8	*c''* . . .	2	$8\frac{1}{2}$
h	1	10	*c''* . . .	1	$10\frac{1}{2}$
forte *h*	$\frac{1}{2}$	12	forte *c''* . . .	$\frac{1}{2}$	12
piano *c'*	4	6	piano *ais'* . .	4	$4\frac{1}{2}$
c'	2	9	*ais'* . .	2	7
forte *c'*	1	11	forte *ais'* . .	1	9
piano *fis*	2	$2\frac{1}{2}$	piano *d'* . . .	4	7
fis	1	5	*d'* . . .	2	11
fis	$\frac{1}{2}$	7	*d'* . . .	1	12
forte *fis*	$\frac{1}{4}$	8	forte *d'* . . .	$\frac{1}{2}$	13
piano *h'*	2	$4\frac{1}{2}$	piano *cis''* . .	8	5
h'	1	8	*cis''* . .	4	8
forte *h'*	$\frac{1}{2}$	10	*cis''* . .	2	11
			forte *cis''* . .	1	13

3. Register.

Bezüglich der Frage, wie Brust- und Falsettregister zustande kommen, gibt Johannes Müller auf Grund seiner Untersuchungen am Leichenkehlkopf bekanntlich folgende Theorie: Bei der Bruststimme schwingen die Bänder in ganzer Breite, ebenso die mit ihnen verbundenen Membranen und der M. thyreo-arytaenoideus; bei den Falsettönen dagegen schwingt bloß der innere oder der Randteil der Stimmbänder.

Schon Merkel behauptete für die Unterscheidung der Muskeltätigkeit bei Brust- und Falsettstimme eine gewisse Gegenwirkung des M. thyreo-arytaenoideus internus mit dem M. crico-thyreoideus.

Der erste, der sich klar über die Frage nach den Stimmregistern aussprach, war Garcia: „Wir verstehen unter Register eine Reihe von aufeinander folgenden homogenen, von der Tiefe zur Höhe aufsteigenden Tönen, die durch die Entwickelung desselben mechanischen Prinzips hervorgerufen sind, und deren Natur sich durchaus unterscheidet von einer anderen Reihe von ebenfalls aufeinander folgenden homogenen Tönen, die durch ein anderes mechanisches Prinzip hervorgerufen sind. Alle demselben Register angehörigen Töne sind indessen von einerlei Natur, gleichviel welche Modifikationen sie hinsichtlich des Klanggepräges oder der Stärke erleiden können. Die Register decken einander in einem Teile ihres Gebietes, so daß die in einer gewissen Region vorhandenen Töne zu gleicher Zeit zwei verschiedenen Registern angehören können, und daß die Stimme dieselben, sei es im Sprechen, sei es im Singen, angeben kann, ohne sie miteinander zu verwechseln.“ Wie schon oben auseinandergesetzt, unterscheiden wir zwei Hauptregister: Brust- und Falsettregister, zwischen denen ein Mittelregister liegt. So außerordentlich leicht wir nun mit dem Ohr unterscheiden, ob ein Ton im Brustregister oder im Falsett gesungen wird, und so leicht es dem Sänger selbst wird, auf Befehl denselben Ton einmal im Brust-, ein zweites Mal im Falsettregister zu singen, so schwierig ist die Antwort auf die Frage, welche Teile des Klanggebildes diesen Eindruck hervorrufen, und genau zu sagen, welche Teile des Stimmorgans die Ursache dieser Einstellung sind.

Die direkte Beobachtung im laryngoskopischen Bilde ergab bei zahlreichen Versuchen, die ich selbst an mir und an anderen

angestellt habe, stets sehr deutlich, daß bei der Bruststimme der Stimmlippenrand gerundet, bei der Falsettstimme dagegen scharf abgesetzt war. Diese Form des Stimmlippenrandes läßt sich im Kehlkopfspiegel ebenso leicht erkennen, wie man auf den Rand eines Tisches von oben her sehend sagen kann, ob dieser Rand eckig oder rund sei. Man würde aus diesem laryngoskopischen Befund schlußfolgern, daß bei der runden Formation des Stimmlippenrandes der gesamte M. internus sich in Kontraktion befinde, während bei dem scharfen Rande der Falsettstimme mindestens die Randpartien desselben erschlafft sein müssen, eine Deutung, die sich den älteren Deutungen von Johannes Müller und Lehfeld durchaus anschließt.

Weit klarer wird aber diese Frage entschieden durch die Untersuchungen mittels der stroboskopischen Scheibe. Schon oben wies ich auf die wichtigen Resultate hin, welche Musehold bei der Untersuchung des Brustregisters gefunden hat, und die sich bei der leicht ausführbaren Nachprüfung mir stets als sehr zuverlässig erwiesen haben: den vollkommenen Schluß der Stimmlippen abwechselnd mit weiter, bis zu 1 und $1^1/_2$ mm gehender Öffnung. Für die Falsettstimme haben die stroboskopischen Beobachtungen von Musehold und besonders die von Réthi ergeben, daß die kräftigen Schwingungen in der Randzone nur bis zu einer bestimmten, dem Rande der Stimmlippen parallelen Linie reichen, an der sich Schleimtröpfchen als an einer relativ ruhigen Stelle in einer Reihe anordnen, eine Erscheinung, die von Oertel, Koschlakoff und anderen fälschlicherweise als „Knotenlinie“ angesehen worden ist. Bemerkenswert ist die Beobachtung, die Réthi zuerst gemacht hat und die man in der Tat leicht verifizieren kann, daß, wenn der freie Rand der Stimmlippe bei möglichst genauem Innehalten des Tones der stroboskopischen Scheibe nach aufwärts schwingt, die Schärfe dieses Randes wie eine Kante nach außen rückt, während der freie Rand wieder abwärts geht, und daß diese Kante, indem sie allmählich verstreicht, eine kurze Strecke weit lateralwärts abläuft, endlich, daß man oft die zweite Kante unterwegs sähe, bevor die erste abgelaufen sei. Diese „Réthische Welle“ wird nach Angabe ihres ersten Schilderers auch bei der Mittelstimme angetroffen. Nicht unwesentlich erscheint, daß Musehold bei der Falsettstimme in stroboskopischer Untersuchung keinen völligen Schluß der Stimmlippen konstatieren

konnte, so daß er dazu neigt, wenigstens bei der Falsettstimme eine dem Mechanismus der durchschlagenden Pfeife entsprechende Bewegung anzunehmen. Nagel betont, daß, wenn man eine steile Aneinanderlegung der inneren Stimmlippenränder annehmen würde, ähnlich wie dies bei dem oben beschriebenen künstlichen Kehlkopf der Fall ist, der Mechanismus der der aufschlagenden Zungenpfeifen sein müsse. Dabei müsse aber dann auch stroboskopisch stets ein vollständiger Glottisschluß sichtbar werden, und da dieser nicht eintrete, so könne man nicht einsehen, wie der Kehlkopf als durchschlagende oder aufschlagende Zungenpfeife funktionieren könne. Nagel nimmt deswegen noch durchaus keine völlige Klärung des Schwingungsmodus der Stimmlippen im Falsettregister an.

Was nun die Muskelwirkungen bei den beiden Registern anbelangt, so ist bereits gesagt worden, daß bei der Bruststimme der M. internus in seinem ganzen Verlaufe kontrahiert ist. Daß er allein die Spannung der Stimmlippen nicht ausmacht, ist aus den anatomischen Verhältnissen, die oben geschildert wurden, ganz deutlich. Es tritt sicherlich zu seiner Wirkung stets die des M. crico-thyreoideus. Während aber bei der Bruststimme der M. crico-thyreoideus in seiner Wirkung mehr zurücktritt, wird beim Falsett die Tonabstufung, d. h. die Spannung der Stimmlippen, vorwiegend durch ihn vollführt. Katzenstein vermochte am Hundekehlkopf durch interessante Experimente diese alte, schon von Merkel aufgestellte Ansicht von neuem zu bekräftigen. Da aber naturgemäß die Erfahrungen der Vivisektion nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen werden können, so ist es von höchstem Interesse, die Resultate kennen zu lernen, welche Jörgen Möller-Kopenhagen in Gemeinschaft mit Fischer mittels des Röntgenverfahrens am lebenden Kehlkopf gewonnen hat. Wenn er einen Sänger den gleichen Ton in Brust- und in Falsettstimme halten ließ und während dessen eine Röntgenaufnahme machte, so zeigte sich das Dreieck zwischen dem unteren Rande des Schildknorpels und dem oberen des Ringknorpels bei der Falsettstimme stets wesentlich enger, ein Zeichen davon, daß hier die Wirkung des M. crico-thyreoideus stärker angesetzt hatte. Während in der Ruhelage die Entfernung des unteren Randes des Schildknorpels von dem oberen Rande des Ringknorpels 14 mm betrug, zeigte sie bei *A* in der Bruststimme 8,

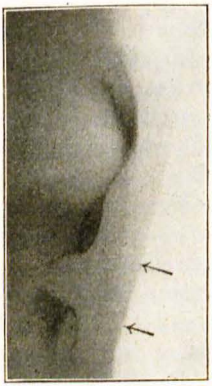
bei *a* in der Bruststimme 6,5 mm, so daß man auch für die Bruststimme ganz offensichtlich die Tonabstufung des M. crico-thyreo-

Fig. 37.



e' in Bruststimme.

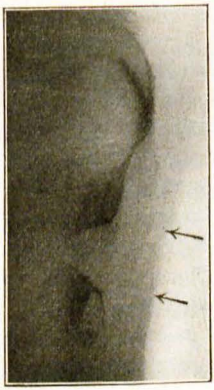
Fig. 38.



e' in Fistelstimme.

ideus bemerken kann. Viel interessanter aber ist die Vergleichung desselben Tones in Brust- und Falsettstimme. So zeigen die hier

Fig. 39.



fis' in Bruststimme.

Fig. 40.



fis' in Fistelstimme.

beigegebenen Bilder das *e'* in Brust- und Falsettstimme gesungen, wobei die Entfernung der beiden Punkte bei der Bruststimme 8,5,

bei der Falsettstimme 8 mm beträgt. Dasselbe Verhältnis zeigt sich bei dem *fis'*. Man kann demnach diese Möllerschen Untersuchungen nur als eine willkommene Ergänzung zu unseren bisherigen, durch Katzenstein erwiesenen Kenntnissen der Wechselwirkung bei der Brust- und Falsettstimme betrachten. Die Abbildungen verdanke ich dem freundlichen Entgegenkommen des Herrn Autors.

Die nächste Frage ist nun, wie das Mittelregister zustande kommt, dasjenige Register, welchem gesanglich die höchste Bedeutung zukommt. Der erfahrene und geschulte Sänger ist ohne Mühe imstande, von der Bruststimme in kontinuierlicher Tonfolge ganz unmerklich in das Falsett überzugehen, während der ungeübte an bestimmter Stelle deutlich vernehmbar aus dem Brust- in das Falsettregister umschlägt. Wie kommt nun jener unmerkliche Übergang zustande? Wenn wir die oben angenommenen Muskelwirkungen als wirklich vorhanden ansehen, so kann man sich denken, daß während des unmerklichen Überganges ein allmähliches Nachlassen der Kontraktion der inneren Fasern des Internus und ein dementsprechendes Ansteigen der Kontraktion des Crico-thyreoideus stattfindet. Leider liegen sorgsame stroboskopische Untersuchungen über diese Frage bisher noch nicht vor. Réthis Meinung scheint etwas Ähnliches im Auge zu haben, da er angibt, daß die Stimmlippen im Mittelregister in größerer Ausdehnung schwingen als beim Falsett. Dieses Mittelregister wird bei Sängern und Kunstgesanglehrern als „voix mixte" bezeichnet.

Die Kopfstimme ist eine hohe Falsettstimme mit eigentümlichen Resonanzvorgängen, auf die später noch näher eingegangen werden soll. Das Strohbaßregister wird bei sehr schlaffen dicken Stimmlippen erzeugt und tritt unter pathologischen Verhältnissen, besonders beim Katarrh, sehr stark hervor. Recht auffallend wird es dann, wenn die Stimmlippen durch chronische Katarrhe eine dauernde Verdickung und Verhärtung erfahren haben: der rauhe Baß alter Trinker (H. v. Meyer).

Ein sehr hoch liegendes viertes Register ist von Sémon, P. Schultz, Lüders und Th. S. Flatau als „Pfeifregister" beschrieben worden. In gemeinschaftlicher Arbeit mit dem letztgenannten habe ich selbst es bei den Untersuchungen der Stimme der Schulkinder mehrfach vorgefunden. Es zeigt sich dabei eine

eigentümliche, spindelförmige Glottis mit kleiner runder Öffnung in der Mitte. Über die Häufigkeit dieses Registers in den Stimmen der Schulkinder wird noch Näheres mitgeteilt werden.

4. Genauigkeit der Stimme.

Wie genau die Stimmmuskulatur einen bestimmten Ton wiedergeben kann, dafür sind verschiedene Untersuchungen angestellt worden. Der erste, welcher darüber auf Veranlassung von Hensen arbeitete, war Klünder. Bekanntlich kann man aus der Anzahl der Schwebungen, welche zwei nahezu gleiche Töne in der Zeiteinheit machen, die Differenz der Schwingungszahlen schließen. Wenn man die Anzahl der Schwingungen kennt, die die eine Tonquelle macht, so kann man daraus die Schwingungen der zweiten Tonquelle berechnen, vorausgesetzt daß man weiß, ob letztere höher oder tiefer als der bekannte Ton ist. Da es aber nur darauf ankommt, die Prozente der Abweichung der zweiten Tonquelle aus den Schwebungen zu bestimmen, so ist auch dieses zu wissen nicht nötig, da es nur einen sehr geringen Fehler ausmacht, ob man die Prozente z. B. statt 429 nur 427 oder umgekehrt berechnet. Klünder leitete den Ton einer Orgelpfeife durch den einen Arm des Königschen Differenzapparates zur empfindlichen Flamme, während in den anderen Arm der zu untersuchende Ton hineingesungen wurde. Er beobachtete dann die Gasflamme und markierte die sich als Bewegung derselben zeigenden Stöße durch den Schlag gegen die eine Branche einer Stimmgabel, die das c auf die kymographische Trommel aufzeichnete, so daß sich in ihrer Welle dieser Stoß markierte. Unter dieser so veränderten Stimmgabelkurve war eine zweite Stimmgabelkurve des c aufgezeichnet. Es ergab sich, daß die Mittelzahl des Fehlers bei dem Singen des c (128 Schwingungen) 0,761 Proz. betrug, während die bei g'' (192 Schwingungen) 0,434 Proz., die bei c' (256 Schwingungen) 0,257 Proz. betrug. Klünder glaubte, den großen Unterschied von 0,761 zu 0,257 Proz. im Umfang einer Oktave auf eine ungleiche Schärfe des Gehörs zurückführen zu müssen; nach angestellten Versuchen zeigte sich jedoch, daß diese in der Höhe und Tiefe fast gleich war, da sich die Genauigkeit bei c und bei a''' (mit 430 Schwingungen) wie 1001,56 zu 1001,54 herausstellte. Er schließt daher, daß der

Grund, weshalb höhere Töne so viel genauer von unserem Kehlkopf angegeben und gehalten werden, im Kehlkopf selbst und nicht im Gehör zu suchen sei, daß demnach bei kontrahierteren Muskeln die Erhaltung in gleichmäßiger Spannung leichter sei als bei weniger kontrahierten.

Exakter war das graphische Verfahren, dessen sich Klünder und Hensen bedienten. Sie ließen zwei Membranen, die eine vom gegebenen Ton, die andere von dem nachgesungenen, in Bewegung setzen und ihre Schwingungen gleichzeitig auf eine rotierende Trommel aufzeichnen. Sodann wurde die Häufigkeit der Bewegungen gezählt und daraus das Resultat berechnet, um wievielmal häufiger oder langsamer der Ton des Kehlkopfes in der Zeiteinheit schwankt als der gegebene Ton, den er nachzusingen sich bemühte. Dieses exaktere Verfahren ergab bei *G* (96 Schwingungen) 0,342 Proz., bei *c* (128 Schwingungen) 0,364 Proz., bei *g* (196 Schwingungen) 0,323 Proz. und bei *c'* (256 Schwingungen) 0,230 Proz.

Hensen benutzte ein optisches Verfahren, das ohne besondere Umstände nachgeprüft werden kann. Er ließ das Bild der durch die Stimme angesungenen Königschen Flamme in einem horizontal oszillierenden Spiegel, der vertikal an die Zinke einer Stimmgabel befestigt war, entstehen. Befinden sich hierbei der Ton der Stimme und der Stimmgabel genau im Einklang bzw. in konstantem Verhältnis, so sieht man im Spiegel ruhende Flammenbilder. Schwankt jedoch die Tonhöhe der Stimme ein wenig nach oben oder unten, so zeigen die Bilder eine Bewegung nach links oder rechts, ähnlich wie bei den Lissajousschen Stimmgabelkurven. Hensen zeigte so, daß kein Sänger imstande war, eine gegebene Tonhöhe längere Zeit festzuhalten. Wichtig ist, zu bemerken, daß die von Klünder festgestellten Fehlerprozente nicht allein auf den Kehlkopf kommen, sondern zum Teil auch auf die Fehler, die das Ohr in der Beurteilung der Tonhöhe macht.

In ähnlicher Weise wie Hensen hat auch P. v. Grützner in neuerer Zeit ein Verfahren beschrieben, um die Genauigkeit im Nachsingen eines gegebenen Tones leicht zu demonstrieren. Der Spiegelapparat, den er dabei benutzt, ist ähnlich gebaut wie der Samojloffsche Apparat, den wir weiter unten noch kennen lernen werden.

Alle diese Versuche sind gewiß von der größten Bedeutung, nicht nur für die Physiologie der Stimme überhaupt, sondern im speziellen auch für die Physiologie des Gesanges bzw. die individuelle Exaktheit des Sängers. Man darf aber bei der Beurteilung nicht vergessen, daß der gegebene und der nachgesungene Ton stets gleichzeitig ertönten, und deshalb ist auch die aus den rechnerischen Untersuchungen Klünders sich ergebende Genauigkeit des Kehlkopfes nicht so sehr erstaunlich. Es ist nämlich höchst bemerkenswert, wie auffallend die Schwebungen, welche zwischen dem gegebenen und dem nachgesungenen Ton in etwas stärkerer Weise entstehen, sofort von dem Individuum durch Veränderung seiner Stimmlippenspannung reguliert und fast völlig zum Verschwinden gebracht werden. Bei zahllosen Tonhöhen- und Tonumfangsuntersuchungen, die ich mit dem Harmonium vornahm, ist mir selbst bei ganz unmusikalischen Personen dieses Verhalten aufgefallen. Wenn ich eine vollständig unmusikalische Person einen Ton längere Zeit aushalten ließ und auf dem Harmonium den möglichst dazu passenden Ton daneben dauernd ertönen ließ, so waren nur zu Anfang dieses Versuches stärkere Schwebungen vorhanden. Fast stets suchte selbst das unmusikalischste Individuum durch Veränderung seiner Stimmbandspannung geradezu automatisch die Schwebungen zu vermeiden [1]).

Es fehlt demnach die außerordentlich wichtige Untersuchung, wie genau ein gegebener Ton nach dem Verklingen desselben nachgesungen werden kann, wie genau ferner die Quart oder Quint zu einem gegebenen Ton getroffen wird, wie lange die zuerst angenommene Spannung zu korrigieren ist, um den gesuchten Ton zu finden und vieles andere mehr, Fragen, die für die Physiologie des Gesanges von der allergrößten Bedeutung sind, und deren Lösung nach dem angegebenen Klünderschen Verfahren relativ leicht zu sein scheint. Auch das

[1]) Es sei nebenbei bemerkt, daß die bei dem Fühlen der Vibrationen zweier gleichzeitig in Bewegung gesetzter, nur ungefähr gleich gestimmter Stimmgabeln entstehenden Vibrationsschwebungen in ganz ähnlicher Weise im Körper des den Kehlkopf des vorsprechenden Lehrers betastenden Taubstummen entstehen, und daß auch der absolut Taube bei einiger Übung es versucht, die entstehenden Vibrationsschwebungen zu vermeiden, so daß er den vorgesungenen Ton bei längerem Tasten manchmal nahezu richtig nachsingt.

Länge gesungener Vokalperioden (Kind, 13 Jahre alt).

Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis	Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis
c'	27,3	27,2	1	g'	17,9	18,1	$^2/_3$
d'	24,2	24,2	$^8/_9$	a'	16,4	16,3	$^3/_5$
e'	22,1	21,7	$^4/_5$	h'	14,5	14,5	$^8/_{15}$
f'	20,4	20,4	$^3/_4$	c''	13,6	13,6	$^1/_2$

Länge gesungener Vokalperioden (Frau und Mann).

Frau (Sopran)				Mann (Bariton)			
Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis	Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis
c'	32,5	31,5	1	c	60	63	1
d'	28,5	28	$^8/_9$	e	50	50,4	$^4/_5$
f'	23,5	23,6	$^3/_4$	g	43,5	42	$^2/_3$
g'	21	21	$^2/_3$	c'	32,5	31,5	$^1/_2$
a'	18,5	18,9	$^3/_5$				

später noch zu besprechende Marbesche Verfahren der Rußfiguren würde leicht dazu verwertet werden können, wenn man zwei rußende Flammen ihre Rußringe aufschreiben läßt oder auch die beiden Tonquellen gleichzeitig auf eine Flamme überträgt und nun die Schwebungen zählt.

Ferner wäre zur Prüfung des musikalischen Gedächtnisses beispielsweise die Untersuchung nicht unwesentlich, wie lange nach dem Verklingen des Tones ein richtiges oder nahezu richtiges Nachsingen noch stattfinden kann, ohne daß bei den betreffenden Individuen absolutes Tongehör vorhanden ist, was natürlich stets eine ausgezeichnete Korrektur geben würde. So berichtet Nagel von einem $3^1/_2$jährigen Knaben, der sonst keine musikalische Begabung zeigte, daß er das a' einer Stimmgabel ohne jede Einübung nicht nur rein nachsang, sondern auch nach mehreren, d. h. bis zu

fünf Minuten es sicher wiederfand, wenngleich nach solchen Pausen im Einsatz allerdings zunächst Fehler bis zu einem halben Ton vorkamen, die aber schnell nach dem akustischen Erinnerungsbilde korrigiert wurden.

Interessant sind Boekes Versuche über die Leistungen einer ungeschulten Stimme mit gutem musikalischen Gehör. Er bestimmte die Längen der Perioden des von einem 13jährigen Knaben durch eine Tonleiter hindurch gesungenen Vokales *a*. Nur der erste Ton dieser Tonleiter war durch eine Pfeife angegeben worden. Boeke verglich nun die Längen der Vokalperioden auf den verschiedenen Tönen (jedesmal aus zehn aufeinander folgenden der Durchschnitt genommen) mit den aus dem Kontrollton, dem Umfange des Phonographenzylinders usw. berechneten Längen. Ebenso bestimmte er die Längen gesungener Vokalperioden bei einer Frau (Sopran) und bei einem Mann (Bariton). Die umstehenden Tabellen zeigen die Ergebnisse übersichtlich zusammengestellt.

5. Stimmeinsätze.

Die Art und Weise, wie die Stimme beginnt, pflegt man von alters her Stimmeinsatz zu nennen. Es gibt drei Arten des Stimmeinsatzes: den gehauchten, den festen und den leisen oder sachten Stimmeinsatz.

Der gehauchte Stimmeinsatz kommt dadurch zustande, daß die Stimmlippen von der Hauchstellung in die zum Tönen verengte Stellung hineinschnellen. Auf diese Weise entsteht zuerst das Hauchgeräusch, welches kontinuierlich in den Ton übergeht. Natürlich kann dieser Hauch sowohl vor Vokalen wie vor tönenden Dauerlauten gesprochen werden.

Der feste Stimmeinsatz charakterisiert sich dadurch, daß sich die Stimmritze vor Beginn des Tönens fest schließt. Unterhalb dieses Schlusses staut sich der Exspirationsstrom etwas stärker an, so daß die erste Öffnung der Stimmlippen einen explosionsartigen Charakter trägt und mit einem deutlich hörbaren Knall verbunden ist: Coup de glotte, Stimmknall, Glottisschlag, dessen Stärke individuell und auch okkasionell verschieden ist, ja der oft genug von Emotionen beeinflußt wird. Auch bei leisester Entstehung ist er einem einigermaßen geübten Ohr stets

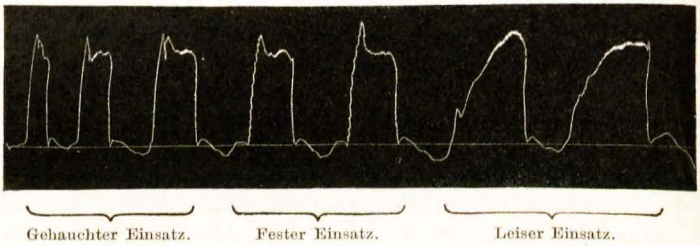
unverkennbar. Will man sich ihn aber deutlich zur Anschauung bringen, so kann man das sehr leicht, wenn man den Kehlkopf mit dem ärztlichen Hörrohr, dem Stethoskop, behorcht (auskultiert); besonders mit dem neueren Phonendoskop ist auch bei sehr leisem Glottisschlag der Knall in unverminderter Stärke zu Gehör zu bringen. Diese feineren Untersuchungsmittel sind nicht überflüssig, da nicht nur für den Gesang der Stimmknall durchaus verpönt ist, sondern auch bei einer Reihe von Stimm- und Sprachfehlern der Patient selbst imstande sein muß, den Stimmknall bei sich, wenn nicht durch die immerhin sehr unsicheren Muskel- und Lageempfindungen des Kehlkopfes, so doch durch das feine Kontrollmittel des Ohres, zu kontrollieren. Nach dem Glottisschlag schwingen die Stimmlippen in der bei der Schwingung des Brustregisters beschriebenen Weise, so daß dieser erste Stimmlippenschluß gegenüber den folgenden eigentlich nur als ein etwas festerer angesehen zu werden braucht, der übrigens auch zeitlich manchmal ein wenig länger von dem nächstfolgenden Stimmlippenschluß entfernt ist als die folgenden Schlüsse untereinander. (Siehe weiter unten die Versuche mit den Marbeschen Figuren.)

Der leise Stimmeinsatz, der beim Gesange ganz besonders und mit Recht bevorzugt wird, besteht darin, daß sich die Stimmlippen bis in die zum Tönen verengte Stellung parallel aneinander legen, so daß nur der längliche, schmale, elliptische Spalt zwischen ihren Innenrändern offen bleibt. Jetzt erfolgen auf das stärkere Anblasen hin sofort die abwechselnden Schlüsse und Öffnungen, welche den Ton hervorrufen. Man kann demnach den Unterschied des festen vom leisen Stimmeinsatze so charakterisieren, daß man sagt: während der feste Stimmeinsatz aus der Phase des Stimmlippenschlusses beginnt, beginnt der leise Stimmeinsatz aus der Phase der Stimmlippenöffnung. Jedenfalls läßt sich das hier für den leisen Stimmeinsatz gegebene Verhalten bei geübten Rednern und Sängern ohne weiteres laryngoskopisch feststellen.

Sehr interessant ist nun die Art, wie man graphisch diese drei Stimmeinsätze zur Anschauung bringen kann. Spricht man gegen irgend eine fein eingestellte Schreibkapsel und läßt die Vibrationen sich auf die berußte Fläche des Kymographions übertragen, so kennzeichnet sich der Hauch durch eine zunächst

vibrationslos von der Null-Linie aufsteigende glatte Kurve, der im Abstieg die Vibrationen erst folgen. Der feste Stimmeinsatz dagegen beginnt mit einer steilen Erhebung von der Null-Linie, bei der schon im allerersten Beginn energische Stimmlippenschwingungen vorhanden sind. Fast das gleiche zeigt der leise Stimmeinsatz, nur mit dem Unterschiede, daß die Erhebung von der

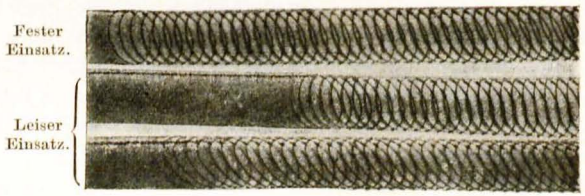
Fig. 41.



Null-Linie vibrationslos erfolgt, und daß die ersten Stimmlippenvibrationen nicht so scharf ausfallen wie bei dem festen Einsatz.

Recht hübsche Figuren erhält man mit dem mehrfach schon erwähnten, aber noch nicht beschriebenen Marbeschen Verfahren. Karl Marbe benutzte die einfache Königsche Flamme, deren Verwendung aus der Physik wohl allgemein bekannt ist, indem

Fig. 42.



er sie nur insofern etwas veränderte, als er das Volumen im Innern der Kapsel möglichst klein machte und ein möglichst enges kapillares Zuleitungsrohr wählte. Statt des gewöhnlichen Gases benutzte er jedoch Azetylengas, das sehr stark rußt, und führte nun über die durch die Stimme in Bewegung gesetzte Flamme einen Streifen Papier hinweg. Wenn die Flamme stillsteht, so zeigt sich ein einfacher glatter Rußstreifen; schwingt

sie jedoch, so zeigen sich einzelne Rußringe, die sich geldrollenförmig überdecken. Marbe benutzte eine Königsche Flamme, die aus einer Öffnung von 1 mm Durchmesser brannte, ungefähr 50 mm hoch war und mit ihrem oberen, 30 mm langen Ende das Papier beleckte. Ich selbst benutzte nicht einen Papierstreifen des Telegraphenpapiers wie Marbe, sondern ließ den Ruß meiner Königschen Flamme auf ein horizontal gestelltes Kymographion anlecken. Verschiebt man nun die Kymographiontrommel durch ein Gewinde wagerecht, so bekommt man eine spiralförmige, ziemlich lange Rußkurve. Wichtig ist, daß die Flamme nicht direkt unter dem tiefsten Punkte des horizontal stehenden Kymographions angebracht werden darf, weil sonst die Rußringe nicht scharf genug werden. Weit hübschere Bilder bekommt man, wenn man sie ein wenig seitlich von der tiefsten Stelle des Kymographions und zwar nach der Bewegungsrichtung des Papiers hin verschiebt. Sehr leicht kann man noch in diesem Rußstreifen selbst mit den bekannten Apparaten, z. B. dem Engelmannschen Chronographen, eine Zeitkurve aufzeichnen, so daß man gleichzeitig auch die Möglichkeit hat, die Tonhöhen ohne weiteres abzulesen. In den Figuren kommt deutlich zum Ausdruck, daß sich bei dem fest eingesetzten a sofort ein starker kräftiger Ring kenntlich macht, während bei den leisen Einsätzen die ersten Rußringe gleichsam verwischt auftreten.

Wie der Stimmeinsatz, so kann auch der Stimmabsatz verschieden sein, die Art, wie die Stimme aufhört. Ein kurz gesprochenes ja z. B. hört man nicht selten mit Coup de glotte abbrechen, wärend es für gewöhnlich in leisem Absatz ausklingt.

6. Stimmlage und Stimmumfang.

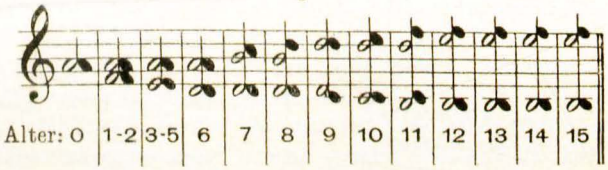
Über Stimmlage und Stimmumfang existieren aus neuerer Zeit mehrere Arbeiten. Die Stimme des Neugeborenen und des Säuglings wurde von mir in Gemeinschaft mit Flatau untersucht, indem wir die Schreie der Neugeborenen und Säuglinge der Olshausenschen Frauenklinik phonographisch aufnahmen und sodann durch Abhören der Walzen unter mehrfacher gegenseitiger Kontrolle bestimmten. Im ganzen waren es 30 Aufnahmen, die sich auf 17 Mädchen und 13 Knaben bezogen. Es zeigte sich, daß der erste Schrei in seiner charakteristischen Eigen-

art, zunächst etwas gedämpft durch Schleimmassen und von Rasselgeräuschen begleitet, erst allmählich sich klärte und verstärkte. Man konnte dann bald ruhigere, gesangsähnliche Töne von den Preßtönen unterscheiden, die mehr oder weniger stark von Begleitgeräuschen verdeckt waren und manchmal zu völligem Preßgeräusch mit krächzendem Charakter wurden. Sehr häufig wurde das Schreien von einleitenden Vokalbildungen vorbereitet, so durch ein weiches i oder u, aus welch letzterem manchmal eine Art von Lippen-w wurde. Ferner wurde der dritte Nasallaut, manchmal auch der zweite Nasallaut vorangesetzt. Auf diese Weise kamen Schreie zustande, die wie ia, oa, ua, wa, nga, nä usw. klangen. Besonderes Interesse hat aber an dieser Stelle die Höhe und der Umfang der ersten kindlichen Stimmleistungen. Es zeigte sich nämlich, daß bei der großen Mehrheit der Aufnahmen sich a′ und h′ als Hauptton zeigten (bei 17), während eine weniger große Zahl (10) vorwiegend in der zweiten Oktave schrie. Der Umfang betrug gewöhnlich zwei bis drei Halbtöne, in 18 Fällen von 30, darüber hinaus bis zu einer Quint nur in 12 Fällen; eine Vergrößerung des Umfanges stellte sich durch die sehr häufigen Inspirationstöne beim ersten kindlichen Schreien heraus, ferner durch die Pfeiftöne, die man ebenfalls gar nicht selten hört. So konnten wir bei einem Knaben von 36 Stunden einen Pfeifton phonographisch aufnehmen, der dem e′′′′ entsprach, während er gewöhnlich in der zweigestrichenen Oktave schrie. Ein $3^1/_2$ Tage alter Knabe produzierte einen Pfeifton in der Höhe des h′′′. Mit dem Inspirationston wurde ebenfalls einigemal die dreigestrichene Oktave erreicht.

Der leise Stimmeinsatz war überwiegend. Jedoch ändert sich um die fünfte Woche herum das Schreien des Säuglings, da es um diese Zeit vorwiegend als Unlustäußerung auftritt, während es früher nichts weiter als eine reflektorische Erscheinung war. Es ist nun interessant, zu sehen, wie in dieser Zeit, wo auch als Lustäußerung das erste Lallen aufzutreten pflegt, aus einer Reihe von lallend produzierten Vokalen mit leisem Stimmeinsatz allmählich Vokale mit härterem und schließlich mit ganz hartem und festem Stimmeinsatz hervorgehen, und wie es dann niemals mehr lange dauert, bis das Kind energisch zu schreien anfängt. Man könnte demnach, wie ich es vorschlug, den leisen Stimmeinsatz als den Lusteinsatz im Gegensatz zum harten als

Unlusteinsatz bezeichnen. Bis zum Schulalter pflegt das Lallen des Kindes, das sich oft als ein halbes Singen darstellt und bekanntlich von einem normalen Kinde fast den ganzen Tag über produziert wird, wenn es nicht gerade schläft, stets in den Grenzen des genannten Stimmbereiches produziert zu werden. Es überschreitet sie nur dann, wenn irgend ein äußerer Anlaß zum Aufschreien vorliegt: Lust- oder Unlustschrei. Gewöhnlich halten sich die Lallmonologe auf den Tonhöhen fis′, dis′, f′, d′, e′, manchmal sogar c′, und gehen gelegentlich bis zu dem a′ des Anfangsschreies wieder in die Höhe oder überschreiten sie auch um einen oder zwei halbe Töne. Diese von mir beobachteten Durchschnittsumfänge der Kinder bis zum 4. und 5. Lebensjahr stimmen mit den von Garbini gegebenen ziemlich gut überein. Erst vom 6. Lebensjahre an stehen uns größere Untersuchungsreihen über die Tonumfänge zur Verfügung, so die von Vierordt, Engel, Treitel, Lennox-Browne, Paul Koch u. a. Die größte Zahl von Untersuchungen des Stimmumfanges von Kindern hat Paulsen gemacht. Seine Untersuchungen erstrecken sich auf etwa 3000 Schulkinder, und besonders eine Tabelle, in der er die Stimmumfänge eintrug, die ungefähr 75 bzw. 25 Proz. jedes Jahrganges gemeinsam sind, wird stets eine wichtige Unterlage für die an die Stimmorgane der einzelnen Schulstufen zu stellende gesangliche Aufgabe bleiben. Es mag deshalb die von Paulsen gegebene Tabelle der Stimmumfänge vom 6. bis zum 15. Lebensjahr hier folgen. Wenn

Fig. 43.



wir nun dasjenige, was wir von der Tonhöhe der Säuglinge und der Tonhöhe der vorschulpflichtigen Kinder bis zum Schuleintritte wissen, mit den Paulsenschen Resultaten zusammennehmen und in einfacher Weise die Entwickelungsreihe der Tonumfänge durch Noten darstellen, so bekommen wir die obige sehr übersichtliche Kurve der Stimmumfänge, in welcher die halben Noten die Knaben, die Viertelnoten die Mädchen bedeuten.

Jahr	Knaben		Mädchen	
	75 Proz.	25 Proz.	75 Proz.	25 Proz.
6	$d'—a'$	$d'—c^2$ $c'—g'$	$d'—a'$	$d'—c^2$ $c'—h'$
7	$d'—b'$	$d'—d^2$ $c'—a'$	$d'—c^2$	$c'—f^2$
8	$d'—h'$	$d'—e^2$ $c'—c^2$	$d'—d^2$	$h—f^2$
9	$d'—d^2$	$h—f^2$	$c'—d^2$	$h—f^2$ $b—es^2$
10	$c'—d^2$	$b—f^2$	$c'—e^2$	$h—g^2$
11	$h—d^2$	$a—e^2$ $h—g^2$	$c'—f^2$	$b—g^2$ $a—e^2$
12	$h—e^2$	$a—f^2$ $b—g^2$	$h—f^2$	$a—g^2$
13	$h—e^2$ $b—es^2$	$a—g^2$	$h—f^2$	$a—a^2$
14	$b—e^2$	$g—es^2$ $a—g^2$	$h—f^2$	$h—a^2$ $a—g^2$
15	$h—e^2$	$g—f^2$ $a—g^2$	$h—f^2$	$h—gis^2$ $as—f^2$

Untersuchungen, die ich mit Flatau gemeinschaftlich über die Singstimme des Schulkindes anstellte, ergaben Resultate, die mit den Paulsenschen bezüglich der Stimmumfänge durchaus übereinstimmen. Wir selbst stellten unsere Umfangsuntersuchungen an 575 Schulkindern an, unter denen in 166 Fällen auch die laryngoskopische Untersuchung ausgeführt werden konnte bzw. durfte. Darunter konnten wir auch einigemal das schon erwähnte Pfeifregister untersuchen, das zuerst von Semon, sodann von P. Schultz und Lüders beschrieben worden ist. Schultz beschreibt die Glottis als klein und rautenförmig, wobei Schwingungen nicht sichtbar waren, so daß wahrscheinlich eine ähnliche Wirkung zustande kam wie bei der Labialpfeife. In seinem Falle umfaßte das Pfeifregister die Töne g'' bis f''''. Wir konnten das Pfeifregister im ganzen bei 14 Kindern feststellen, und zwar bei 4 Knaben und 10 Mädchen.

Eine wichtige physiologische Veränderung macht die Stimme in der Zeit der Pubertät durch. Der Kehlkopf wächst beim

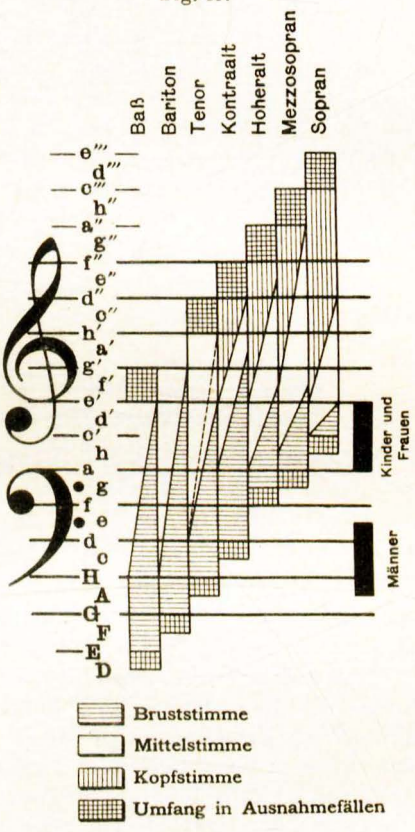
männlichen Geschlecht in rapider Weise innerhalb einer relativ kurzen Zeit, so daß die Stimmlippen um ein Drittel ihrer Länge zunehmen. Auch beim weiblichen Geschlecht findet sich eine

Fig. 44.



Stimmänderung, wenn dieselbe auch nicht so erheblich ist, und wenn auch das Wachstum des Kehlkopfes durchaus nicht annähernd die Differenzen aufweist, wie wir sie beim männlichen Geschlecht vorfinden. Die beistehende Fig. 44 gibt einen Überblick über die Verschiebung der Stimmlagen beim männlichen und weiblichen Geschlecht unter dem Einfluß der Veränderung der Stimme in der Pubertätszeit. Man sieht, wie die durchschnittliche Lage der Männerstimme gegenüber der Frauenstimme um eine Oktave nach unten verschoben ist. Die Stimmen des erwachsenen Menschen sind in ihrem Umfange durch die beistehende Figur, die nach Angaben von Stockhausen durch Spiess und Moritz Schmidt aufgestellt wurde, wiedergegeben. Die individuellen Höhen- und

Fig. 45.

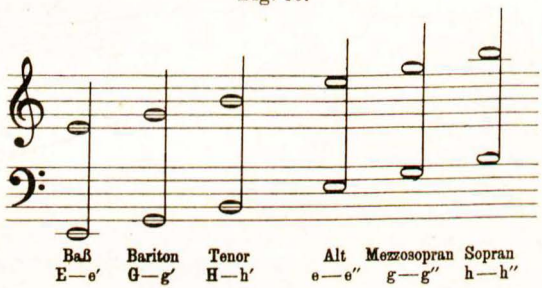


Nach Spiess und M. Schmidt.

Die schwarzen Umfänge beziehen sich auf die Sprechstimme.

Klangunterschiede werden als Baß, Bariton, Tenor, Kontraalt, hoher Alt, Mezzosopran und Sopran bezeichnet. Begnügt man sich mit der Bezeichnung Baß, Bariton, Tenor, Kontraalt, Alt, Sopran und bestimmt die durchschnittliche Tonlage und den durchschnittlichen Tonumfang durchschnittlich guter Sänger, so gibt das beistehende Notenbeispiel in einfach zu behaltender Weise die Verhältnisse wieder. Danach reicht der Baß von *E* (81,5 Schwingungen) bis zum *e'* (325,9 Schwingungen), der Bariton von *G* (96,9 Schwingungen) bis *g'* (387,5 Schwingungen), der Tenor endlich von *H* (122 Schwingungen) bis *h'* (488,3 Schwingungen). Die drei Frauenstimmlagen sind um eine Oktave nach oben verschoben, so daß der Kontraalt von *e* (162,9 Schwingungen) bis *e''* (651,8 Schwingungen), der Alt von *g* (193,8 Schwingungen) bis *g''* (775,1 Schwingungen) und der Sopran von *h* (244,1 Schwingungen) bis *h''* (976,5 Schwingungen) reicht.

Fig. 46.



Die **Sprechstimme** bewegt sich gewöhnlich an der unteren Grenze des Tonumfanges, und selbst die im ruhigen Sprechen eintretenden Kadenzen eingerechnet liegt sie gewöhnlich beim Manne von *A* bis *d* bzw. nach Paulsen *e*, bei der Frau von *a* bis *d'* bzw. *e'* (s. Fig. 45). Die Stimmnote des Boekeschen Knaben schwankte beim gewöhnlichen Sprechen zwischen 410 und 366 Schwingungen, d. h. annähernd zwischen *a'* und *f'*, die Stimmnote der Frau zwischen *e'* und *ais*. Mir scheint, daß sich die durchschnittliche Stimmlage des Knaben wesentlich zu hoch ergeben hat durch die Fehler, die überhaupt die phonographische Aufnahme mit sich bringt: weil man in den phonographischen Trichter hineinspricht, spricht man zu laut und zu hoch. Daß dieser

Fehler gleichmäßig bei der phonographischen Aufnahme vorkommt, beweisen die sonstigen Angaben Boekes. Er fand bei einem Mann mit ausgeprägter Baßstimme, der sämtliche Vokale bis zum *C* (64 Doppelschwingungen) noch deutlich singen konnte, eine durchschnittliche Sprechstimme von *c* bis *f*, während für die durchschnittliche Stimmnote eines Franzosen, der wahrscheinlich Tenor war, *b* bis *d'* aufgefunden wurde. Dasselbe ist offenbar der Fall bei der eigenen Stimme Boekes, denn er findet seine eigene Stimmnote nach den phonographischen Ausmessungen im Durchschnitt zwischen *fis* und *ais*, also eine Oktave tiefer als die des 13jährigen Knaben. Dagegen stimmt die Stimmnote der Frau recht gut mit den bekannten, oben angegebenen Durchschnittslagen der Frauenstimme, die sich mit denen der Kinderstimme durchaus decken, überein. Die Art und Weise, wie die Stimme im Sprechen selbst schwankt, werden wir später bei der Darstellung des Akzentes noch näher zu würdigen haben.

7. Flüstern und Bauchrednerstimme.

Von ungewöhnlichen Arten, die Stimme zu gebrauchen, erwähne ich hier nur das Flüstern und das Bauchreden. Das Flüstern geschieht, indem die austretende Luft sich zwischen den einander genäherten Stimmlippen reibt. Gewöhnlich stellen sich die Stimmlippen dabei so, daß die vorderen Teile der Stimmbänder aneinander liegen, während die Gießbeckenknorpel in Form eines kleinen Dreiecks voneinander entfernt stehen. Die Stimmritze bildet so ein umgekehrtes Y. Die Luft streicht scharf durch das Trigonum intercartilagineum hindurch. Das Flüstergeräusch ist in seiner Höhe an sich nicht variabel, die Höhe desselben hängt von der durch das Flüstern angeblasenen Ansatzhöhle ab. So steigt das Flüstergeräusch in seiner Höhe bei den fünf einfachen Vokalen des Alphabetes in folgender Weise auf: *u o a e i*. Bemerkenswert ist, daß Donders aus diesem Ton des Flüstergeräusches seine Vokaltheorie ableitete. (Siehe S. 73.)

Daß es möglich ist, dieses Flüstergeräusch auch ohne Kehlkopf im Ansatzrohr künstlich zu erzeugen und so gleichsam ohne Mitwirkung des Kehlkopfes zu sprechen, zeigte 1829 bereits Deleau, den ich ausführlich in dem bekannten Werke von

Bennati (Die physiologischen und pathologischen Verhältnisse der menschlichen Stimme, 1833) zitiert und nachgeprüft finde. Deleaus Verfahren beschreibt er selbst wie folgt: „Man führe eine elastische Röhre, welche der in einem Gefäße in komprimiertem Zustande enthaltenen Luft den Austritt verstattet, durch ein Nasenloch bis in den Schlund. Sobald man fühlt, daß die Luftsäule dessen Wandungen berührt, so halte man den Atem an sich und setze die Sprachwerkzeuge in Bewegung, wobei man so verfährt, als wollte man die den Lungen entströmende Luft zurückdrücken; man wird dann leise reden und deutlich alle Teile jedes Wortes unterscheiden können. Weil ich indessen fürchtete, bei dem Versuche, die Tätigkeit der Lungen zu unterbrechen, während ich die Sprachwerkzeuge gebrauchte, mir zu schaden, so sprach ich mit lauter Stimme, ließ aber zu gleicher Zeit den durch die Nase vermittelten Luftstrom in voller Stärke wirken. Alsbald ertönten gleichzeitig zwei gleichlautende Wörter, so daß alle Anwesenden glaubten, zwei Personen reden zu hören. Durch diesen Versuch ist es wohl hinlänglich bewiesen, daß der Kehlkopf zum Sprechen nicht unumgänglich und in allen Fällen nötig ist.“ Deleau schloß also während des ersten Versuches seine Stimmlippen und bewegte nur die Artikulationswerkzeuge in der zum Sprechen nötigen Weise, wobei dann die einzelnen Artikulationshöhlen durch das künstliche Flüstergeräusch angeblasen wurden. In ganz ähnlicher Weise verfährt man bei den Patienten, denen infolge einer bösartigen Geschwulst der Kehlkopf entfernt werden muß, und bei denen die Luftröhre am Vorderhalse endigt, so daß die Artikulationswerkzeuge nicht mehr von der Lunge aus angeblasen werden können. Man führt ihnen den Ton eines künstlichen Kehlkopfes durch den unteren Nasengang in den Pharynx hinter das Gaumensegel. Blasen die Patienten nun von der Trachealkanüle aus den künstlichen Kehlkopf an, so können sie mit ihm nach wie vor laut und deutlich sprechen (Gluck).

Die Bauchrednerstimme ist von Flatau und mir in einer ausführlichen Monographie in ihrer Entstehung näher geschildert worden. Die Stimmbildung selbst geht dabei durch ziemlich starke Aneinanderpressung der Stimmlippen gepreßt und gleichzeitig durch die sehr starke Annäherung der Taschenlippen und das gleichzeitige weite Überdecken des Kehldeckels

gedämpft vor sich, so daß sie mehr oder weniger fern erklingt. Das Nähere möge man in der ausführlichen Veröffentlichung nachlesen.

II. Physiologie der Sprachlaute.

A. Anatomische Vorbemerkungen.

Betrachten wir die nebenstehende Figur! Sie stellt einen Mediandurchschnitt durch das Gesicht dar bis zur Wirbelsäule. Wir erkennen sehr leicht nach unseren bisherigen Darstellungen den Kehlkopf und sehen, wie der Kehldeckel an der Zunge befestigt ist. Wir nennen nun alles das, was sich oberhalb der Stimmbandebene be-

Fig. 47.



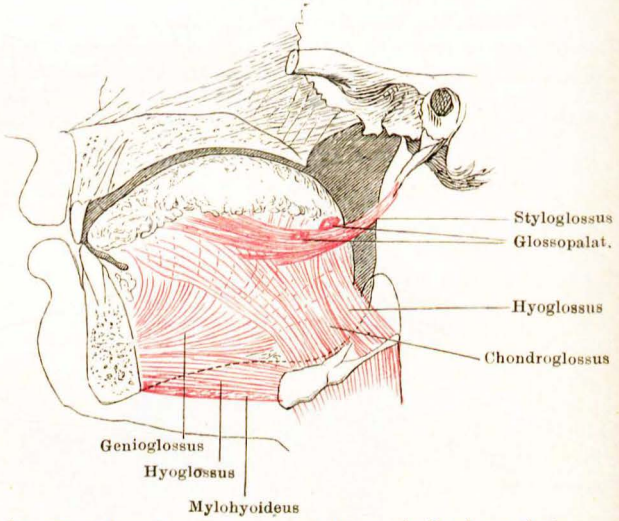
Mediandurchschnitt durch den Kopf bei herabhängendem Gaumensegel.

findet, Ansatzrohr. Während der Kehlkopf das stimmgebende Organ ist, ist das Artikulationsrohr oder das Ansatzrohr dazu bestimmt, diese Stimme zu modifizieren. Schon bei der ersten oberflächlichen Betrachtung dieses inneren Gesichtes des Menschen erkennen wir, wie außerordentlich kompliziert und wie merkwürdig architektonisch gegliedert es gegenüber dem äußeren Gesichte ist. Zeigt sich doch hier ein ganzes Höhlensystem und zeigt doch jede einzelne Höhle so

außerordentlich viele Einzelheiten, daß eine klare Übersicht erst gelingt, wenn man die Haupthöhlen gegeneinander abgliedert.

Die bekannteste ist unten die Mundhöhle. Wir sehen die Lippen, die Zähne, den Durchschnitt der Zunge, wir erkennen die Gaumenmandel. Nach oben hin ist die Mundhöhle abgeschlossen durch den Gaumen, der gewissermaßen die Decke oder den Himmel der Mundhöhle bildet. Gleichzeitig ist er jedoch der Boden der Nasenhöhle, die wir darüber in ihrer eigentümlichen Formation von der Seite her erblicken. Das Dach der Nasenhöhle ist der vorderste Teil der unteren Schädelwandung; es sitzt also über dem Dach der Nasen-

Fig. 48 (nach Henle-Merkel).



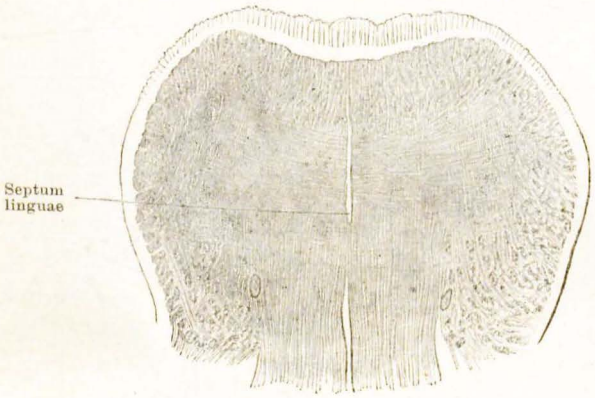
Verlauf der extraglossalen Zungenmuskulatur, halbschematisch.

höhle, nur durch den hier eigentümlich geformten Knochen von derselben getrennt, das Vorderhirn. An den vorderen Teil des Nasendaches grenzt die Stirnhöhle an, die sich als eine Aushöhlung des hier sehr starken Schädelknochens zeigt; weiter hinten zeigt sich, ebenfalls als eine Aushöhlung im Knochen, die Keilbeinhöhle. Ziehen wir in der Figur vor dem vorderen Rande der Keilbeinhöhle bis zum vorderen Ende der Stimmbänder eine gerade Linie, so trennen wir die Mund- und die Nasenhöhle einerseits von einer langgestreckten Höhle andererseits ab, die nach vorn hin mit den genannten Höhlen in Verbindung steht, nach hinten hin von der Wirbelsäule begrenzt wird und nach unten hin in die Kehlkopfhöhle übergeht. Trennen wir durch einen weiteren Abgrenzungsstrich die Kehlkopfhöhle von ihr ab, so haben

wir in diesem eigentümlich längsgestreckten Hohlraum den Rachen oder die Rachenhöhle (Pharynx) vor uns. Nach der Lagerung gegenüber den drei Höhlen, Kehlkopfhöhle, Mundhöhle und Nasenhöhle unterscheiden wir an der Rachenhöhle den Kehlkopfhöhlenteil der Rachenhöhle (Pars laryngealis = Hypopharynx), den Mundhöhlenteil der Rachenhöhle (Pars oralis = Mesopharynx) und den Nasenteil der Rachenhöhle (Pars nasalis = Epipharynx) oder Nasenrachenraum (Cavum pharyngo-nasale). Nach oben hin endet die Rachenhöhle am Schädelgrunde.

Zwischen den beiden Zahnreihen des Unterkiefers ruht am Boden der Mundhöhle der beweglichste Muskel des Muskelapparates unseres Körpers, die Zunge. Die einzelnen Muskeln, aus denen sich dieser

Fig. 49 (nach Henle-Merkel).



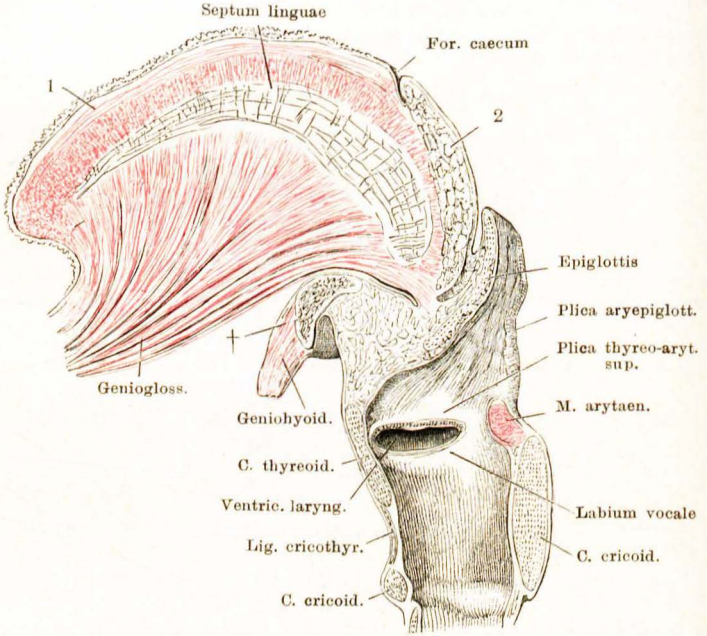
Frontalschnitt der Zunge.

Fleischkloß zusammensetzt, sind in ihrem Verlauf ziemlich verwickelt und daher hier in ihren Einzelheiten nicht gut darstellbar.

Jedenfalls sehen wir auf dem Durchschnitt der Fig. 48 besonders zwei große Muskelgruppen, einmal einen Muskel, dessen Fasern von der hinteren Seite des Unterkieferknochens entspringen und nun fächerförmig in die ganze Zunge ausstrahlen, das ist der Musculus genioglossus. Das Ende der Fasern dieses Muskels ist ungefähr in einer Entfernung von 5 mm von der Schleimhaut der oberen Zungenfläche zu suchen. Ferner entspringen vom Zungenbein die Musculi hyoglossi und gehen schräg nach vorn und aufwärts zu den Seitenpartien der Zunge, wo sie sich an die Musculi genioglossi anlegen. Von den Muskeln, die in der Zunge selbst entspringen und enden, ist besonders der Musculus transversus linguae zu erwähnen, den man in der Fig. 49 gleichfalls sieht. Er geht quer von links nach rechts durch die Zunge hindurch.

Die ganze Zungenmasse ist durch eine Scheidewand (Septum linguae) in zwei gleiche Hälften geteilt. Diese Scheidewand, die aus Bindegewebe besteht, stellt fast das einzige Bindegewebe in der gesamten Zungenmasse dar. Es gibt wohl kaum ein Muskelgebilde des menschlichen Körpers, das so außerordentlich wenig Bindegewebe- und Fettgehalt besäße wie die Zunge. Diese Scheidewand der Zunge erstreckt sich nach hinten hin bis zum Kehldeckel, wo sie aus dem

Fig. 50 (nach Henle-Merkel).



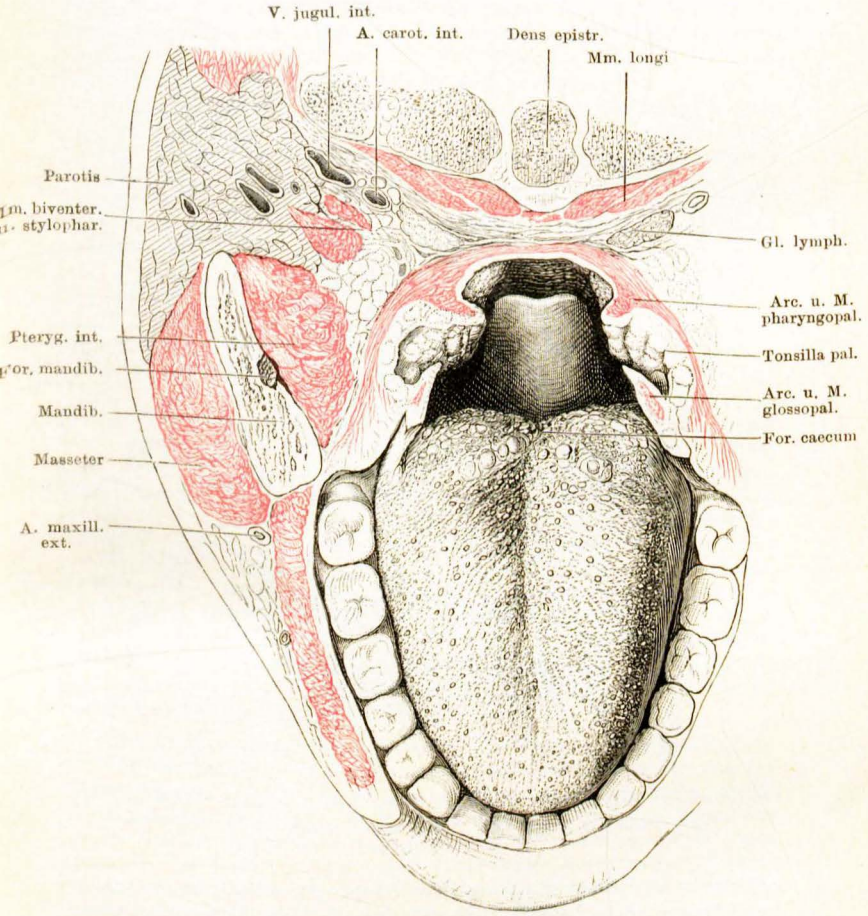
Medianschnitt der Zunge und des Kehlkopfes.

† Durchschnitt des Zungenbeinkörpers. 1 Längsmuskelfasern des Zungenrückens. 2 Drüsenschichte des Zungenrückens.

Grunde des Zungenfleisches hervortaucht und das Kehldeckelzungenband (Ligamentum glosso-epiglotticum) darstellt. Wenn wir die Zunge nunmehr in ihrer Gesamtheit von oben betrachten, so müssen wir an ihr zunächst zwei Teile unterscheiden: einen Mundteil und einen Rachenteil. Der Mundteil der Zunge reicht von vorn bis zu der Stelle, wo der Zungenrand seitlich aufhört, und das ist genau die gleiche Stelle, wo die vorderen Gaumenbögen (Arcus glosso-palatini) links und rechts entspringen. Auf dem Rücken der Zunge sieht man hier ein

mit der Spitze nach vorn gerichtetes lateinisches V, welches von sechs bis zehn sog. umwallten Papillen (Papillae circumvallatae) gebildet

Fig. 51 (nach Henle-Merkel).

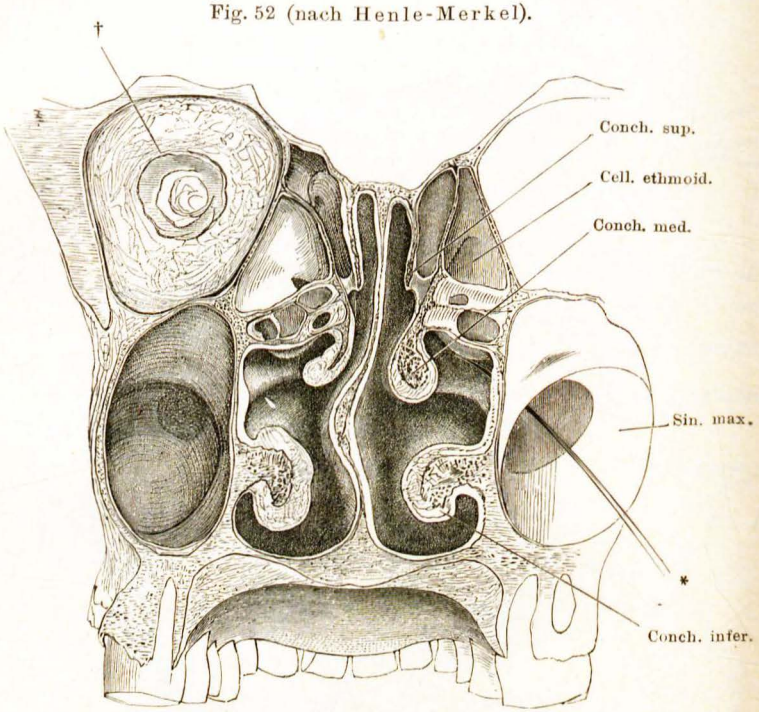


Horizontalschnitt der Mundhöhle durch die Lippenkommissur.

wird. Der Mundteil der Zunge steht im wesentlichen horizontal, während der Rachenteil mehr vertikal geneigt ist, so daß dieser Teil der Zunge gleichsam die vordere Wand des Rachens bildet. Die

Schleimhaut der oberen Zungenfläche ist rauh in der Mundhöhle, weil sie hier eine große Anzahl von schwammartigen Papillen trägt; nach dem Rachen zu wird die Schleimhaut sammetartig weich, weil in ihr außerordentlich viele Drüsen eingestreut sind. Diese Drüsen werden besonders nach hinten hin überaus zahlreich, und am Zungengrunde befindet sich ein Konglomerat von adenoidem Gewebe, welches

Fig. 52 (nach Henle-Merkel).



Frontalschnitt des Kopfes durch die Nasenhöhle, vordere Schnittfläche.

† Durchschnitt der Augenhöhle. * Eine aus der Kiefer- in die Nasenhöhle geführte Sonde.

vollständig in seiner Struktur den Gaumenmandeln, die wir bald besprechen werden, ähnelt. Es ist das die sog. Zungenmandel. Die untere Zungenfläche ist viel dünner. Wenn wir den Mund weit öffnen und die Zunge in die Lage bringen, welche sie bei dem Sprechen des Lautes L einnimmt, das heißt, wenn wir die Zungenspitze bei weit geöffnetem Munde hinter die obere Zahnreihe stellen, so sehen wir fast die ganze untere Schleimhautfläche der Zunge.

Wie wir aus der Fig. 47 sowie aus der beistehenden Fig. 52 sehen, zeigt die Nasenhöhle eine eigentümliche, architektonisch sehr bemerkenswerte Bauart. Die ganze Nasenhöhle besteht aus zwei sich ungefähr gleichsehenden Hälften, die voneinander durch eine in der Mittellinie des Kopfes gelegene Scheidewand, die Nasenscheidewand, getrennt sind. Die Nasenscheidewand ist in ihrem hinteren Teile knöchern, in ihrem vorderen Teile knorpelig. Sie endet nach hinten sowohl wie nach vorn mit einem freien Rande.

Das Dach der Mundhöhle wird durch den Gaumen gebildet. Der feste Gaumen bildet ein Gewölbe, das ungefähr 4 cm lang ist. Führt man den Zeigefinger in der Mittellinie des harten Gaumens nach hinten und zwar so, daß man mit mäßigem Drucke an die Wölbung des harten Gaumens dabei andrückt, so fühlt man in dem Moment, wo die Schneidezähne des Oberkiefers das zweite Gelenk des Fingers erreichen, daß der harte knöcherne Widerstand des Gaumens aufhört und der Finger das Gewölbe nach oben hin wegzudrücken vermag. Der harte Gaumen endet jedoch nach hinten schon etwas früher, da an seine Hintergrenze sich eine sehr starke, straffe Bandplatte ansetzt, die schwer auf Fingerdruck nachgibt und daher leicht den Knochen vortäuschen kann. Von da ab ist das Gaumengewölbe weich und biegsam, und man nennt es infolge seiner eigentümlichen Form und Beweglichkeit Gaumensegel. Betrachten wir nun das Gaumensegel von vorn her, so sehen wir, daß von den Seitenrändern der Zunge dort, wo sie aufhören frei zu sein, nach oben hin jederseits ein Bogen zieht, die sog. Zungengaumenbögen (Arcus palatoglossi). Dieselben endigen mit einem kleinen nach unten konkaven Bogen am seitlichen Rande des Zäpfchens. Nach hinten von ihnen sieht man zwei ihnen parallel ziehende Bögen links und rechts vom Zäpfchen herabziehen, welche in der Seitenwand des Rachens verschwinden, die sog. Gaumenrachenbögen (Arcus palatopharyngei). Die beiden Bögen fassen zwischen sich eine Nische, die gleich einem gotischen Fenster spitzbogenförmig von beiden Bögen eingefaßt wird, und in dieser Nische liegt jederseits eine Anhäufung adenoiden Gewebes, die wir als Gaumenmandel bezeichnen (Tonsille).

Das Gaumensegel vermag dadurch, daß es sich erhebt, den Zugang zur Nasenhöhle von unten her vollständig abzuschließen, so daß der weiche Gaumen mit dem harten Gaumen eine horizontale Decke bildet, während der weiche Gaumen im ruhenden Zustande gegen den harten Gaumen einen mehr oder weniger großen Winkel bildet. Diese Tätigkeit des Gaumensegels wird vorwiegend durch einen Muskel besorgt, der aus der Tiefe der Tuba Eustachii herauskommt und sich fächerförmig in die Substanz des Gaumensegels ausbreitet. Der Muskel entspringt seitlich am Schädelgrunde und geht von der einen Seite kontinuierlich in den Muskel der anderen Seite über, so daß auf diese Weise, da ja der Ansatzpunkt am Schädelgrunde absolut fest ist, eine Art halbkreisförmiger Schleife entsteht. Es ist klar, daß der Muskel bei seiner Kontraktion das Gaumensegel scharf emporheben muß. Die

beistehende Fig. 53 zeigt das straff erhobene Gaumensegel, und wir sehen, daß sich der Muskel offenbar nicht bis zur hintersten Grenze des Gaumensegels erstreckt. Damit das Gaumensegel hinten anstoße, ist das auch durchaus nicht nötig; es hängt ein Teil des Gaumensegels frei herab, und das Segel selbst empfängt durch die Kontraktion des Gaumenhebemuskels einen scharfen Knick. Dieser Muskel heißt Heber des Gaumensegels oder Levator veli palatini. In der Substanz des Gaumensegels sind weiter eingebettet die Muskeln, welche in den Gaumenbögen liegen, und die, wie man bei Betrachtung des geöffneten Mundes im Spiegel sehen kann, ebenfalls halbkreisförmige Schleifen darstellen müssen. Wie die Figg. 54 und 55 zeigen, gehen diese Muskeln in der Substanz des Gaumensegels über die Schleife des Levators

Fig. 53.

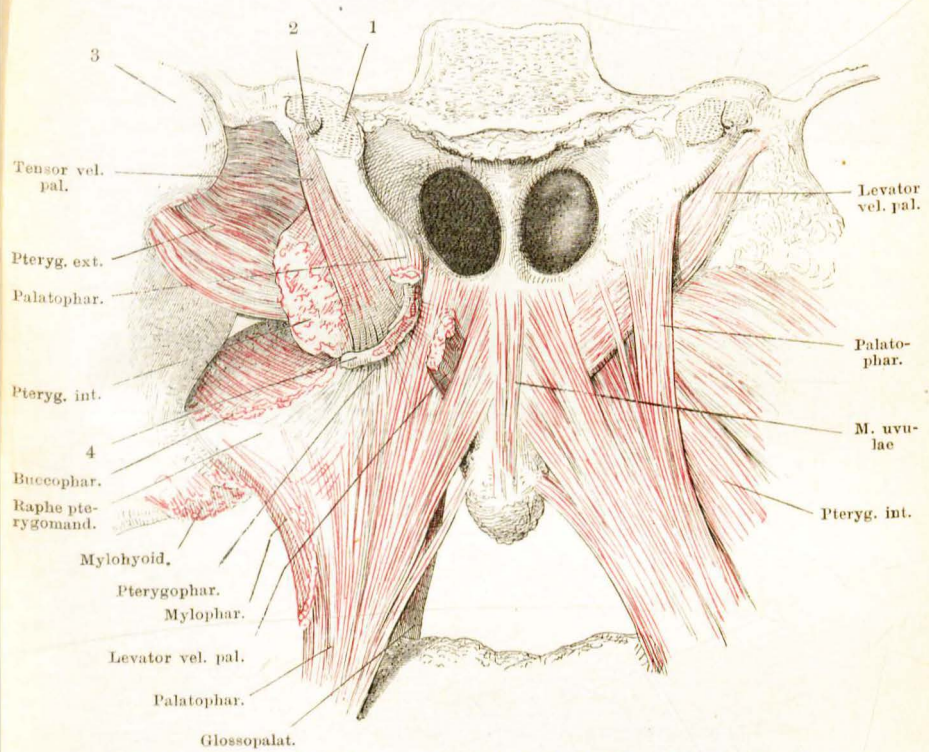


Mediandurchschnitt durch den Kopf bei gehobenem (kontrahiertem) Gaumensegel.

hinüber, sie werden also bei der Wirksamkeit des Levators in die Höhe gerissen und gestreckt, so daß die Schleife in die Länge gezogen erscheint. Das können wir in der Tat sehen, wenn wir den Mund weit öffnen und nun, indem wir in ihn hineinblicken, kräftig und laut a sagen. Man sieht dann ganz deutlich, besonders wenn das a recht laut und hoch gesagt wird, daß die Gaumenbögen gereckt werden, so daß die Gaumenpfeiler sogar sich einander etwas nähern. Ebenso klar ist aus dem ganzen Verlaufe dieser Muskeln, daß sie gleichsam die Gegenmuskeln des Levators sind, seine Antagonisten. Sie ziehen bei ihrer Kontraktion das Gaumensegel nach abwärts. Außerdem liegt ganz oben dicht unter der Oberfläche und genau in der Mittellinie ein Muskelbündel, das pinselförmig frei nach unten hin endet und mit seinem untersten Ende das Zäpfchen bildet, das ist der Musculus

azygos uvulae oder Zäpfchenmuskel. Er nimmt die ganze Mittellinie des weichen Gaumens ein und entspringt an einer sehnigen Platte, die ihrerseits wieder an das hintere Ende des harten Gaumens fest angewachsen ist. Diese sehnige Platte ist das Ende des sog. Gaumensegelspanners (Musculus tensor veli palatini). Wir sehen also, daß von

Fig. 54 (nach Henle-Merkel).



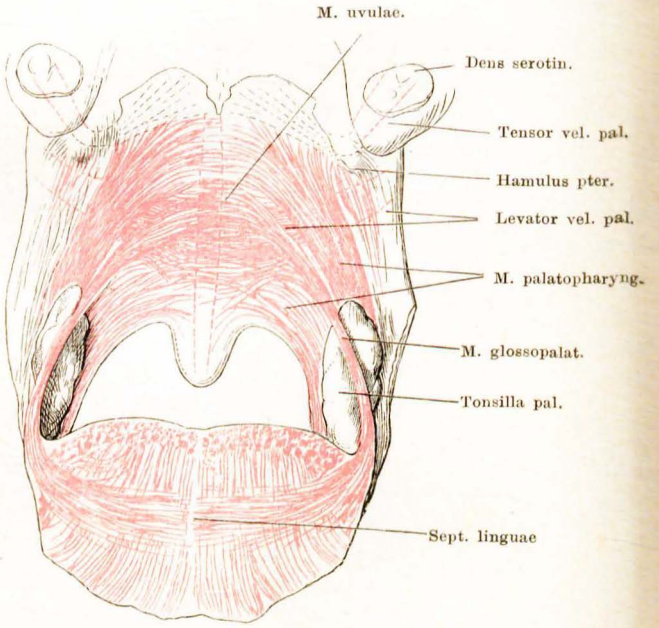
Schädelbasis, hinter den Choanen frontal durchschnitten, Choanen und Gaumensegel von hinten, mit freigelegten Muskeln.

1 Knorpel der Tuba. 2 Lumen derselben. 3 Gelenkkopf des Unterkiefers. 4 Hamulus pterygoideus.

diesem Gaumenmuskel keine Muskulatur sich im Gaumensegel selbst befindet, sondern nur seine flächenförmige Endsehne. Der Muskel entspringt an einem Fortsatz des Keilbeines und an der unteren Wand der Ohrtrompete und schlägt seine Fasern um einen kleinen Knochen-

vorsprung der flügelförmigen Fortsätze des Keilbeins herum. Seinen Verlauf ersehen wir aus der Figur, und wir ersehen gleichzeitig, daß bei seiner Kontraktion sich das Gaumensegel nicht heben kann, sondern nur eine Spannung erfährt. Er ist in der Tat auch für das Gaumensegel absolut belanglos. Viel wichtiger ist seine Tätigkeit für die Ohrtrompete; denn da seine Fasern an der unteren Wand des knorpeligen Teiles dieses Rohres ansetzen, so vermag er die Ohrtrompete durch seine Kontraktion zu erweitern und so eine Lüftung

Fig. 55 (nach Henle-Merkel).



Darstellung der Gaumenmuskeln.

der Ohrtrompete vorzunehmen. Wie aus dem Geschilderten zu ersehen, ist die Muskulatur des Gaumensegels nicht so sehr einfach vorzustellen. Die Gesamtsubstanz des Gaumensegels enthält außer den beschriebenen Muskeln zahlreiche Schleimdrüsen, Bindegewebe und, in der Schleimhaut, Lymphfollikel.

Damit der Abschluß des Gaumensegels mit der hinteren Rachenwand inniger und fester werde, springt gleichzeitig mit dem Heben des Gaumensegels an der hinteren Rachenwand ein Wulst hervor, der sog. Passavantsche Wulst. Derselbe wird besonders durch die obersten Fasern der Ringmuskulatur des Rachens hervorgerufen, und zwar, wie

ich zuerst betonte, durch den M. pterygo-pharyngeus, den obersten Teil des oberen Schlundschnürers. Die hintere und seitliche Wand der Rachenhöhle nämlich zeigt eingelagert eine flache Muskulatur, den obersten, den mittleren und den untersten Schlundschnürer oder Rachenschnürer: Constrictor pharyngis superior, medius et inferior. Diese Muskeln entspringen alle von der Mittellinie des Rachens, und zwar so, daß sie dachziegelartig übereinander liegen. Der mittlere liegt zum Teil über dem oberen, der untere zum Teil über dem mittleren. Der obere geht nun mit seinen obersten Fasern an die schon mehrfach genannten flügelförmigen Fortsätze des Keilbeines und bildet somit, da diese Schädelteile nicht bewegt werden können, eine dort feste Punkte besitzende halbkreisförmige Schleife, die bei ihrer Kontraktion notwendig eine Art Ring in den Rachen verwölben muß. Die übrigen Fasern dieses Rachenmuskels gehen zum Teil an die Innenseite des Unterkiefers, zum größten Teil aber gehen sie entweder direkt oder mit Zwischenlagerung eines sehnigen Streifens in den Trompetermuskel der Backen über, so daß man sogar von einem Musculus buccopharyngeus sprechen kann. Der mittlere Schlundschnürer endet am Zungenbein, und der unterste am Kehlkopf. Man merke sich also: der oberste Schlundschnürer endet an den seitlichen Teilen des Kopfes (Musculus kephalo-pharyngeus), der mittlere Schlundschnürer endet am Zungenbein (Musculus hyo-pharyngeus) und der unterste Schlundschnürer, wie gesagt, am Kehlkopf (Musculus laryngo-pharyngeus). Der mittlere Teil der Rachenhöhle bekommt einen Abschluß nach oben hin durch das sich erhebende Gaumensegel. Es ist sonst im allgemeinen von diesem mittleren Teile nicht mehr viel zu sagen, außer daß er derjenige ist, den man im Spiegel am leichtesten bei sich selbst beobachten kann. Man sieht auch an ihm, wie durch die Kontraktion der Rachenmuskulatur die gesamte Schleimhaut und bewegliche Substanz der hinteren Wand der Rachenhöhle beim Sprechen des Vokales *a* scharf in die Höhe gehoben wird. Sehen wir ein derartiges Emporsteigen der Rachenwand nicht, so können wir immerhin daraus schließen, daß die Beweglichkeit der Rachenmuskulatur eine sehr geringe ist.

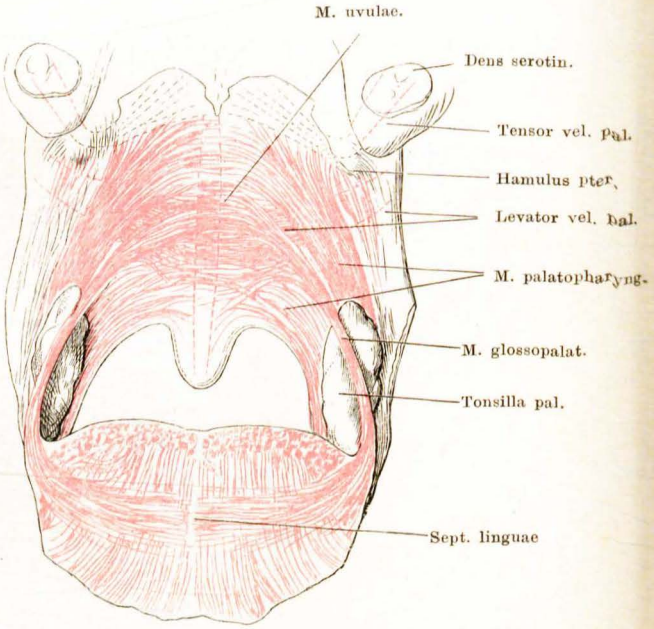
Die Kraft des Gaumen- bzw. Rachenverschlusses ist recht erheblich. Mit dem später noch zu besprechenden Hartmannschen Meßverfahren bekommt man vergleichbare Werte. Die einzelnen Sprachlaute haben verschiedene Abschlußkraft, beim *a* ist sie am geringsten. Folgende Werte sind durch zahlreiche Messungen an 100 Kindern von 8 bis 16 Jahren von Biebendt gewonnen worden:

a	*o*	*u*	*e*	*i*	*ss*	*s*	*f*	*w*
38,2	42,2	41,5	41,5	41,2	62,6	52,2	58,3	51,3

Beim *a* wird öfters auch die Kraft des Verschlusses = 0 gefunden. Bei *i* soll nach Nagel der Abschluß so stark sein, daß er von dem gewöhnlichen Wassergebläse nicht überwunden wird.

vorsprung der flügelförmigen Fortsätze des Keilbeins herum. Seinen Verlauf ersehen wir aus der Figur, und wir ersehen gleichzeitig, daß bei seiner Kontraktion sich das Gaumensegel nicht heben kann, sondern nur eine Spannung erfährt. Er ist in der Tat auch für das Gaumensegel absolut belanglos. Viel wichtiger ist seine Tätigkeit für die Ohrtrompete; denn da seine Fasern an der unteren Wand des knorpeligen Teiles dieses Rohres ansetzen, so vermag er die Ohrtrompete durch seine Kontraktion zu erweitern und so eine Lüftung

Fig. 55 (nach Henle-Merkel).



Darstellung der Gaumenmuskeln.

der Ohrtrompete vorzunehmen. Wie aus dem Geschilderten zu ersehen, ist die Muskulatur des Gaumensegels nicht so sehr einfach vorzustellen. Die Gesamtsubstanz des Gaumensegels enthält außer den beschriebenen Muskeln zahlreiche Schleimdrüsen, Bindegewebe und, in der Schleimhaut, Lymphfollikel.

Damit der Abschluß des Gaumensegels mit der hinteren Rachenwand inniger und fester werde, springt gleichzeitig mit dem Heben des Gaumensegels an der hinteren Rachenwand ein Wulst hervor, der sog. Passavantsche Wulst. Derselbe wird besonders durch die obersten Fasern der Ringmuskulatur des Rachens hervorgerufen, und zwar, wie

ich zuerst betonte, durch den M. pterygo-pharyngeus, den obersten Teil des oberen Schlundschnürers. Die hintere und seitliche Wand der Rachenhöhle nämlich zeigt eingelagert eine flache Muskulatur, den obersten, den mittleren und den untersten Schlundschnürer oder Rachenschnürer: Constrictor pharyngis superior, medius et inferior. Diese Muskeln entspringen alle von der Mittellinie des Rachens, und zwar so, daß sie dachziegelartig übereinander liegen. Der mittlere liegt zum Teil über dem oberen, der untere zum Teil über dem mittleren. Der obere geht nun mit seinen obersten Fasern an die schon mehrfach genannten flügelförmigen Fortsätze des Keilbeines und bildet somit, da diese Schädelteile nicht bewegt werden können, eine dort feste Punkte besitzende halbkreisförmige Schleife, die bei ihrer Kontraktion notwendig eine Art Ring in den Rachen verwölben muß. Die übrigen Fasern dieses Rachenmuskels gehen zum Teil an die Innenseite des Unterkiefers, zum größten Teil aber gehen sie entweder direkt oder mit Zwischenlagerung eines sehnigen Streifens in den Trompetermuskel der Backen über, so daß man sogar von einem Musculus buccopharyngeus sprechen kann. Der mittlere Schlundschnürer endet am Zungenbein, und der unterste am Kehlkopf. Man merke sich also: der oberste Schlundschnürer endet an den seitlichen Teilen des Kopfes (Musculus kephalo-pharyngeus), der mittlere Schlundschnürer endet am Zungenbein (Musculus hyo-pharyngeus) und der unterste Schlundschnürer, wie gesagt, am Kehlkopf (Musculus laryngo-pharyngeus). Der mittlere Teil der Rachenhöhle bekommt einen Abschluß nach oben hin durch das sich erhebende Gaumensegel. Es ist sonst im allgemeinen von diesem mittleren Teile nicht mehr viel zu sagen, außer daß er derjenige ist, den man im Spiegel am leichtesten bei sich selbst beobachten kann. Man sieht auch an ihm, wie durch die Kontraktion der Rachenmuskulatur die gesamte Schleimhaut und bewegliche Substanz der hinteren Wand der Rachenhöhle beim Sprechen des Vokales *a* scharf in die Höhe gehoben wird. Sehen wir ein derartiges Emporsteigen der Rachenwand nicht, so können wir immerhin daraus schließen, daß die Beweglichkeit der Rachenmuskulatur eine sehr geringe ist.

Die Kraft des Gaumen- bzw. Rachenverschlusses ist recht erheblich. Mit dem später noch zu besprechenden Hartmannschen Meßverfahren bekommt man vergleichbare Werte. Die einzelnen Sprachlaute haben verschiedene Abschlußkraft, beim *a* ist sie am geringsten. Folgende Werte sind durch zahlreiche Messungen an 100 Kindern von 8 bis 16 Jahren von Biebendt gewonnen worden:

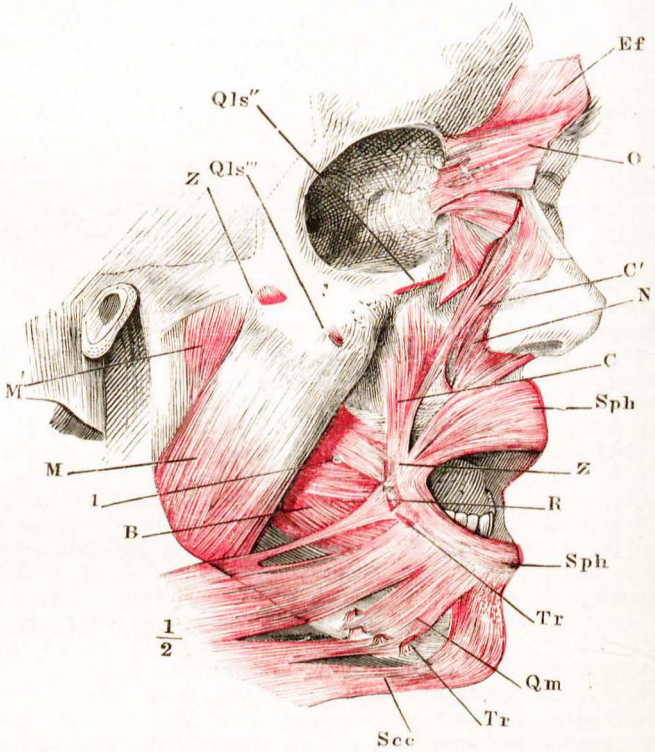
a	*o*	*u*	*e*	*i*	*ss*	*s*	*f*	*w*
38,2	42,2	41,5	41,5	41,2	62,6	52,2	58,3	51,3

Beim *a* wird öfters auch die Kraft des Verschlusses = 0 gefunden. Bei *i* soll nach Nagel der Abschluß so stark sein, daß er von dem gewöhnlichen Wassergebläse nicht überwunden wird.

Äußere Gesichtsmuskeln.

Die äußeren Gesichtsmuskeln haben insofern eine gewisse Wichtigkeit für uns, weil ihre Tätigkeit bei der äußerlich sichtbaren Bewegung, die die einzelnen Lautbildungen charakterisiert, zutage tritt. Indem

Fig. 56 (nach Henle, Handbuch).



Gesicht, fast Profil, die Augenhöhle entleert, der M. orbicularis oculi (*O*) nebst dem M. frontalis (*Ef*) zurückgeschlagen. *ZZ* Ursprung und Insertion des M. zygomaticus. *R* M. risorius, Insertion. *Tr* Ursprung und Insertion des M. triangularis. *Qls''*, *Qls'''* Caput infraorbit. und zygomaticum des M. quadrat. labii sup. am Ursprunge abgeschnitten. *C* M. caninus. *B* M. buccinator. 1 Ausführungsgang der Parotis, am Eintritt in den Muskel abgeschnitten. *Sph* Sphinctor oris. *N* M. nasalis. *M*, *M'* oberflächliche und tiefe Portion des M. masseter. *Scc* M. subcut. colli.

wir in bezug auf die Einzelheiten auf die Figur verweisen, wollen wir hier nur hervorheben, daß der einzig bewegliche Teil des gesamten Kopfes der Unterkiefer ist, und daß dieser in die Höhe gehoben wird

vorwiegend durch den Musculus masseter oder Kaumuskel und durch den Musculus temporalis oder Schläfenmuskel. Beide Muskeln kann man in ihrer Tätigkeit leicht durch das Gefühl kontrollieren, wenn man kleine Kaubewegungen macht und dabei die Finger dicht vor das Ohr oberhalb und unterhalb des Backenknochens anlegt. Zum Öffnen oder Herabziehen des Unterkiefers dienen Muskeln, die im Boden der Mundhöhle eingebettet sind, und deren näherer Verlauf aus den beigegebenen anatomischen Figuren ersichtlich ist. Die Mundöffnung wird umgrenzt durch einen ringförmigen Muskel, den Musculus orbicularis oris, und in diesen hinein verlaufen radial eine große Anzahl von kleineren und größeren Muskeln von der Nase her, vom Backenknochen, vom Kinn. Man sieht, daß die Mundöffnung fast nach jeder Seite hin durch die Kontraktion dieser Muskeln verzerrt werden und daß andererseits der Mund durch die Kontraktion des Ringmuskels sehr stark zusammengepreßt werden kann. Gewisse Kombinationen der Muskeln der Oberlippe und Unterlippe mit dem Orbicularis ermöglichen es, daß die Lippen nach vorn geschoben werden. In der Tiefe endlich erblicken wir den ganz flachen Musculus buccinator oder Trompetermuskel, den wir bereits bei der Rachenmuskulatur mit erwähnt hatten.

B. Physiologie des Ansatzrohres.

Die Wirkung des Ansatzrohres auf die menschliche Stimme besteht vorwiegend in zwei Erscheinungen:

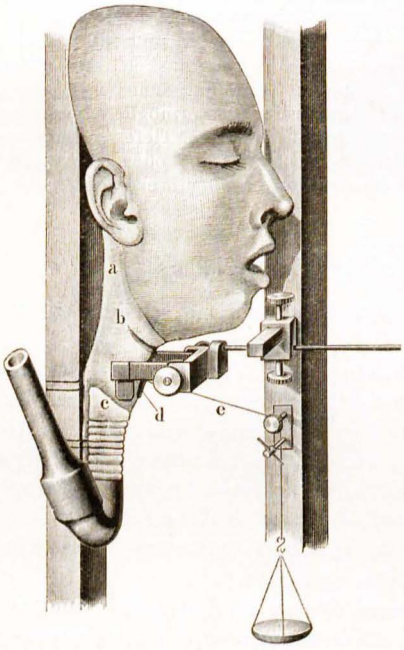
1. Die Stimme wird verstärkt oder auch abgeschwächt, letzteres allerdings gewöhnlich nur bei der Bauchrednerstimme. Die Verstärkung kann mehr oder weniger hochgradig sein, je nach der Form des Ansatzrohres, die der tönenden Luftsäule den Weg nach außen möglichst bahnt. Sie kann durch bestimmte Formationen des Ansatzrohres eine erstaunliche Größe erreichen.

2. Die Klangfarbe des im Kehlkopf erzeugten Tones wird durch das Ansatzrohr wesentlich verändert.

Man könnte noch an einen dritten Einfluß denken und annehmen, daß, ebenso wie bei Blasinstrumenten mit schwingenden Zungen durch das Ansatzrohr auch die Höhe des Tones beeinflußt wird, das gleiche beim menschlichen Ansatzrohr der Fall wäre. Während aber dort die Schwingungszahl der Zunge durch das Ansatzrohr geradezu bestimmt wird, ist es bei dem Ansatzrohr des Menschen umgekehrt: der Resonanzraum, der durch das Ansatzrohr repräsentiert wird, sucht sich der Tonhöhe des Kehlkopfes nach Möglichkeit zu adaptieren. Auch ist ein derartig weichwandiger Resonator wie das menschliche Ansatzrohr

so außerordentlich stark gedämpft, daß er in weitem Umfange auf Töne anspricht und sie verstärkt. Daß in manchen Fällen durch plötzliche Behinderung der Hauptausflußöffnungen der tönenden Luftsäule, z. B. bei einseitiger Nasenverengerung, wenn man das andere Nasenloch plötzlich zuhält, während der Resonant *m* langtönend ausgesprochen wird, der Ton der Stimme merklich tiefer wird, ist von Spiess beobachtet und von mir, Bukofzer und Jörgen Möller hinreichend erklärt.

Fig. 57.



Am interessantesten und für die gesamte Physiologie der Sprache am bedeutungsvollsten ist die Veränderung, welche die Klangfarbe des Kehlkopftones im Ansatzrohr und durch das Ansatzrohr erleidet. Auch hier ist es ein Versuch von Johannes Müller, von dem aus wir den Ausgang unserer Betrachtung nehmen. Johannes Müller schnitt den Kopf einer Leiche so ab, daß der ganze Stimmapparat mit einem Teile der Luftsäule daran hing. Dann wurden die Halswirbel weggenommen wie bei der Präparation des Schlundes, der Kehlkopf vorn bloßgelegt, der Schlund hinter den Cartilagines arytaenoideae geöffnet, diese Knorpel auf einer quer durchgezogenen dicken Stecknadel fest zugebunden, ganz so wie bei den ausgeschnittenen Kehlköpfen, die Schnur dieser Ligatur durch einen Schlitz des Schlundes nach außen geleitet und der Schlund, nachdem er fest zugenäht worden war, an seinem unteren Ende unterbunden. Sodann hängte er den Kopf mit dem Stimmapparat auf, indem er die hintere Wand

des Stimmapparates wie gewöhnlich an einem Pfeiler befestigte und besonders die von den Cartilagines arytaenoideae gebildete Wand daran festlegte. Wenn in dieser Anordnung der Kehlkopf der Leiche angeblasen wurde, so wurde der Klang der Stimme der menschlichen so ähnlich, daß aller Unterschied des lebenden Körpers und der Maschine verschwand. Bei passiver Bewegung der Lippen konnte Johannes Müller sogar zur Bildung einiger Konsonanten schreiten. Das *m* und das *w* gelangen sehr leicht, auch die Vokale *u* und *a* wurden durch die nötigen Veränderungen der Mundöffnung erzeugt, so daß die Leiche also noch klare menschliche Sprachlaute produzieren konnte. Das, was bei diesem Versuch besonders auffiel, war die absolute Menschenähnlichkeit der so erzeugten Leichenstimme, was man von einem einfachen isolierten Leichenkehlkopfe kaum sagen kann. Man kann demnach wohl ohne Übertreibung die Behauptung aufstellen, daß das eigentlich Menschenähnliche in der Stimme durch die Einwirkung des Ansatzrohres zustande kommt. Der Klang, den das Ansatzrohr an sich erzeugt und dem Stimmklange beimischt, die Art, wie es die Obertöne des aus dem Kehlkopf dringenden Tones verstärkt oder erst hinzufügt, ist demnach schon seit langer Zeit der Hauptgegenstand der Untersuchung von Physiologen, Physikern und Phonetikern gewesen, und trotz zahlreicher, zum Teil mit außerordentlichem Scharfsinn angestellter Arbeiten sind die Meinungen über diesen Gegenstand unter den Forschern heute noch recht geteilt.

1. Klanganalyse der Sprachlaute.

Vorbemerkungen: Alle musikalischen Klänge bestehen aus einem Grundton und harmonischen Tönen oder Obertönen, welche ganze Vielfache der Schwingungszahl dieses Grundtons darstellen. Hat also der Grundton eines gesungenen Vokals die Schwingungszahl 100, so würden die Obertöne die Schwingungszahlen 200 300, 400, 500, 600 usw. haben. Für *c* (128 Schwingungen) wären also die Obertöne *c'* (256 Schwingungen), *g'* (384 Schwingungen), *c''* (512 Schwingungen), *e''* (640 Schwingungen), *g''* (768 Schwingungen), *b''* (896 Schwingungen), *c'''* (1024 Schwingungen), *d'''* (1152 Schwingungen), *e'''* (1280 Schwingungen) usw. Vergleicht

man diese Schwingungszahlen der physikalischen Stimmung mit denen der internationalen temperierten Stimmung[1]), gegründet auf $a' = 435$ Doppelschwingungen, so sieht man, daß mehr oder weniger große Differenzen besonders bei den höheren Obertönen eintreten, und es ist ganz interessant, daß bei dem bekannten Klavierversuch, den Helmholtz angegeben hat, um die Obertöne einzeln, z. B. aus der angeschlagenen Taste c, herauszuhören, ein einigermaßen musikalisches Ohr sofort hört, daß der Oberton e'' etwas niedriger ist als der Ton der Taste e'', ein exakter Beweis dafür, daß nicht etwa eine Gehörstäuschung bei der Wahrnehmung der Obertöne vorliegen kann.

Die Klangfarbe hängt nun von der Zusammensetzung des Klanges aus den Partialtönen (Grundton und Obertönen) ab. Die bekannteren Bezeichnungen dieser Klangfarbe kann man kurz nach Helmholtz und Mach folgendermaßen definieren: 1. Klänge, welche ausser dem Grundton keine oder nur sehr schwache Obertöne enthalten, erscheinen weich und dumpf. 2. Klänge mit einigen hohen Obertönen von mäßiger Stärke sind voller und angenehmer. 3. Wenn der Grundton bedeutend stärker ist als die Obertöne, ist der Klang voll, im gegenteiligen Fall leer. 4. Klänge, in welchen die geradzahligen Teiltöne (Oktaven, Doppeloktaven usw.) fehlen, sind hohl und näselnd. In geringerem Grade findet dies statt, wenn nur die ungeradzahligen Teiltöne (Duodezime und ihre Oktave) fehlen. 5. Scharf ist ein Klang, welcher sehr viele und hohe Obertöne hat.

Daß jeder musikalisch brauchbare Klang, also auch die menschliche Stimme, neben seinem Grundton noch die Duodezime und die nächsthöhere Terz hören läßt, wußten bereits Rameau und d'Alembert (1717 bis 1783).

a) Analyse der menschlichen Stimme durch Hören, Resonatoren, Interferenz und manometrische Flammen.

So wie von Rameau und d'Alembert, wurde, nur in ausführlicherer Weise, über die Resultate der einfachen Beobachtung der menschlichen Stimme durch das Ohr von H. Grassmann

[1]) $c = 129{,}3$; $c' = 258{,}45$; $g' = 387{,}5$; $c'' = 517{,}3$; $e'' = 651{,}76$; $g'' = 775{,}08$; $ais'' = 921{,}7$; $c''' = 1034{,}6$; $d''' = 1161{,}3$; $e''' = 1303{,}5$ usw.

1854 und später im Jahre 1877 berichtet. Ähnliche Beobachtungen hat zum Teil Helmholtz gemacht, indem er besonders die hohen Obertöne des *ö*, *e* und *i*, für welche man keine eine erhebliche Verstärkung gebenden Resonatoren beschaffen kann, mit dem unbewaffneten Ohre heraushörte. Er ließ zu ihrer Beobachtung hohe Töne weiblicher Stimmen oder Männerfistelstimmen singen, weil die Obertöne der hohen Noten in der betreffenden Gegend der Skala nicht so nahe aneinanderliegen wie diejenigen tiefer Noten und deshalb leichter voneinander unterschieden werden können. So ließ er weibliche Stimmen das b' auf die verschiedenen Vokale singen und hörte die Duodezime f'' bei einem breiten *ä*, die Doppeloktave b''' bei *e* und die hohe Terz d'''' bei *i*, letztere oft recht durchdringend. Bei den sogenannten tiefen Vokalen verfuhr Helmholtz etwas anders: er sang das *u* in der Skala von *c* aufwärts und fühlte, daß die Erschütterung der Luft im Munde und selbst an den Trommelfellen beider Ohren am heftigsten wurde, wenn er bis *f* gelangte, vorausgesetzt daß er sich bemühte, ein dumpfes *u* festzuhalten, ohne es in *o* übergehen zu lassen. Sobald er *f* überschritt, änderte sich die Klangfarbe, das starke Zittern im Munde und das Kitzeln in den Ohren hörten auf. So bestimmte er die Resonanz der Mundhöhle für das dumpfe *u* auf die Höhe von *f*. Auch Oskar Wolf suchte die Vokalklänge mit dem unbewaffneten Ohr zu analysieren. Er erwähnt, daß ein geübter Musiker beim reinen Ansingen eines Vokalklanges, besonders des *a*, einen ganzen Akkord hören könne, und daß ihn Appun während der Versuche noch besonders darauf hinwies, daß gerade in freier Luft, wo die Schallwellen präzise ausschwingen können, dieser Akkord viel deutlicher hervortritt als im Zimmer. In etwas anderer Weise suchte Donders die direkte Analyse des Vokalklanges herbeizuführen, indem er sich bemühte, die Tonhöhe des Geräusches zu bestimmen, das beim Flüstern der verschiedenen Vokale eintritt. Spricht man die Vokale *u*, *o*, *a*, *e*, *i* flüsternd hintereinander, so hört man, wie die Tonhöhe von *u* bis *i* in deutlichem Anstieg sich verändert. Jedenfalls ist das so entstehende Geräusch durch ein geübtes Ohr leicht zu bestimmen, jedoch sind Irrtümer in der Oktave ebenso gewöhnlich, wie sie bei der Beurteilung der Pfeiftöne ja allgemein bekannt sind, die man gemeiniglich sogar um zwei Oktaven zu tief schätzt. Auch gewisse Flüstervokale kann man, wenn man den

anblasenden Luftstrom etwas verstärkt, zum Pfeifen bringen, so *ü* und *ö*, auch *u*, wie Nagel hervorhebt und ich ebenfalls bestätigen kann. Übrigens macht Helmholtz darauf aufmerksam, daß auch schon vor Donders ältere, wenn auch unvollständige Wahrnehmungen über denselben Gegenstand existieren, von Samuel Reyher, Chr. Hellwag, Flörke und Olivier. Pipping weist bezüglich der Analyse dieser geflüsterten Vokale auch noch auf die Mitteilungen von Merkel in dessen Laletik und von Krönig (1876) hin[1]).

Auch die Klanganalyse durch die Perkussion entweder der Wangen (Helmholtz) oder des Kehlkopfes (F. Auerbach) oder der Zähne (J. Czermak und Helmholtz, Tonempf., S. 191) gehört noch zu den rein subjektiven Untersuchungsmethoden. Erleichtert wurde diese Art der Untersuchung dadurch, daß man den Eigenton des Ansatzrohres durch verschiedene Mittel stärker zum Erklingen zu bringen suchte. Das Erklingen durch einfache Perkussion ist zwar intensiv, aber zu schnell abklingend und dementsprechend die Bestimmung der Resonanztöne auf diese Weise auch recht unzuverlässig. Deshalb blies Donders die Mundhöhle direkt an wie eine Pfeife. Sein Apparat bestand aus einer Röhre, die in eine schmale Spalte endete und vor dem Munde des Sprechers befestigt werden konnte. Wurde durch die Röhre ein Luftstrom geleitet, so hörte man den Eigenton der Mundhöhle. Ähnlich Hensen nach Grützner (Ergebnisse 1902, S. 490).

Durch Stimmgabeln, die vor die Mundöffnung in den verschiedenen Vokalstellungen gebracht wurden, suchte nach Wheatstone besonders Helmholtz die Resonanz der Mundhöhle festzustellen. Er nahm angeschlagene Stimmgabeln von verschiedener Höhe und brachte sie vor den geöffneten Mund, wobei dann der Ton der Stimmgabel um so stärker gehört wurde, je genauer er einem der Eigentöne der in der Mundhöhle eingeschlossenen Luftmasse entsprach. Da die Stellung der Mundhöhle willkürlich verändert werden kann, so kann man sie auch stets dem Ton einer gegebenen Stimmgabel anpassen und so leicht ermitteln, welche Stellungen man der Mundhöhle geben muß, damit ihre Luftmasse auf eine bestimmte Tonhöhe abgestimmt

[1]) Eine vortreffliche historische Darstellung der gesamten Fragen und Untersuchungsmethoden ist in Grützners Physiologie (Handbuch von Hermann 1, 2) enthalten.

sei (Helmholtz, S. 171). Dabei stellte Helmholtz fest, daß die Tonhöhe der stärksten Mundhöhlenresonanz nur von dem Vokal abhängig war und sich ziemlich beträchtlich selbst bei kleinen Veränderungen in der Klangfarbe des Vokals, „wie sie etwa in verschiedenen Dialekten derselben Sprache vorkommen", änderte, daß dagegen die Eigentöne der Mundhöhle fast unabhängig von Alter und Geschlecht waren, daß sich dieselben Resonanzen bei Männern, Frauen und Kindern ergeben. „Was der kindlichen und weiblichen Mundhöhle an Geräumigkeit abgeht, kann durch engeren Verschluß der Öffnungen leicht ersetzt werden, so daß die Resonanz doch leicht ebenso tief werden kann wie in der größeren männlichen Mundhöhle."

In gleicher Weise verfuhr König bei seinen Prüfungen. In anderer Weise versuchte Helmholtz die Analyse durch Anwendung seiner Resonatoren. „Man setze z. B. einen Resonator, der auf *b'* abgestimmt ist, an das Ohr und lasse nun eine Baßstimme, welche geübt ist, die Tonhöhe ganz festzuhalten und die Vokale richtig zu bilden, auf einem der harmonischen Untertöne des *b'*, sei es *b* oder *es* oder *B* oder *Ges*, der Reihe nach die Vokale in gleichmäßiger Stärke singen. Man wird finden, daß bei einem reinen, voll tönenden *o* das *b'* des Resonators mächtig in das Ohr hineinschmettert. Demnächst ist derselbe Oberton in einem scharfen *ä* und einem Mittelton von *a* und *o* noch sehr kräftig, schwächer bei *a*, *e*, *ö*, am schwächsten bei *u* und *i*. Auch findet man leicht, daß die Resonanz des *o* sich merklich schwächt, wenn man es entweder dumpfer macht und dem *u* nähert, oder wenn man es offener bildet, daß es *a* wird. Nimmt man den Resonator eine Oktave höher, *b''*, so ist es nun der Vokal *a*, welcher den Resonator am kräftigsten mittönen läßt, während das beim ersten Resonator kräftig wirkende *o* hier eine geringe Wirkung hat."

In genau der gleichen Weise verfuhr F. Auerbach; er sang die Vokale auf einem gegebenen Ton und brachte der Reihe nach an sein Ohr die verschiedenen Resonatoren, welche der Obertonreihe des betreffenden Tones entsprachen, verglich diese je zwei miteinander und notierte ihre relative Intensität. Dann sang er von neuem denselben Vokal auf eine andere Note und begann nun dieselben Beobachtungen. Er führte diese Untersuchung auf die Töne *c*, *g*, *c'* und *g'* aus.

In sehr interessanter Weise haben Paul v. Grützner und Sauberschwarz die Frage zu lösen versucht, wie ein vokalischer Klang durch Änderung seiner Eigentöne beeinflußt wird, um auf diese Weise eine Analyse herbeizuführen. Sie legten sich die Frage vor: Was geschieht mit einem Vokalklange der menschlichen Stimme, wenn ihm dieses oder jenes charakteristische Tonelement genommen wird? und suchten diese Frage durch zweckmäßige Interferenzapparate zu lösen. Dabei ergab sich, daß durch Vernichtung oder Abschwächung des Grundtones die Vokale im allgemeinen weniger leiden (sie klangen mehr wie von fern) als durch Vernichtung ihrer charakteristischen Töne. Am widerstandsfähigsten zeigte sich das *a*; *u* und *i* dagegen büßten am leichtesten ihren charakteristischen Vokalklang ein.

Der Quinckesche Interferenzapparat ist aus der Physik wohl bekannt. Schon Quincke und Seebeck betonten, daß durch derartige Apparate einfache Töne nicht vollständig ausgelöscht, sondern nur mehr oder weniger abgeschwächt werden, weil der durch das längere Rohr verzögert anlangende Ton auch naturgemäß durch die längere Wegstrecke abgeschwächt ist, so daß immer ein stärkerer mit einem schwächeren Ton interferiert und naturgemäß die gegenseitige Herabsetzung nicht auf Null gehen kann. Die Wirkung dieser Interferenz kann man aber bedeutend steigern, wenn man sie nicht einmal, sondern mehrere Male hintereinander hervorruft; würde z. B. durch die erste Interferenz der Ton auf $\frac{1}{n}$ seiner Intensität herabgesetzt, so würde eine nochmalige zweite Interferenz ihn auf $\frac{1}{n} \times \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$ und eine dritte Interferenz auf $\frac{1}{n^3}$ herabsetzen.

Grützner und Sauberschwarz benutzten einen Interferenzapparat mit sechs seitlichen Ansatzröhren, bei dem durch mehrfache Interferenz die betreffenden Töne vollständig ausgelöscht wurden. Wichtig ist dabei, daß nur der durch den Interferenzapparat dringende Ton von dem Ohr aufgefaßt wird und nicht etwa von dem anderen Ohr der primäre Ton wahrgenommen wird. Deswegen muß die Zuleitung möglichst weit von dem Hörenden entfernt und durch Wände abgeschlossen sein.

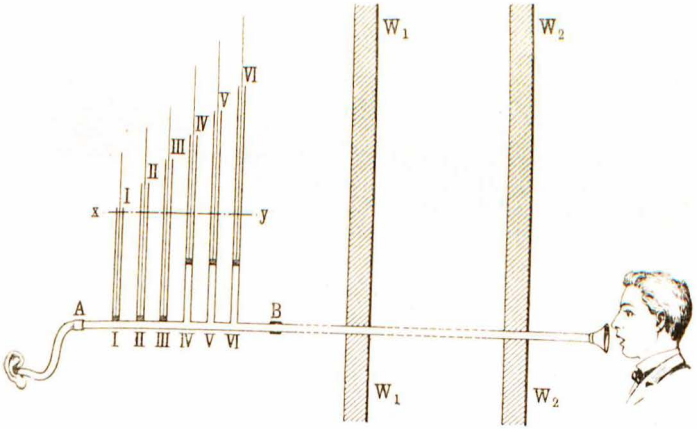
Der Interferenzapparat mit dem Hörrohr befindet sich demnach in dem einen Zimmer in bequemer Höhe auf einem Tisch mit verschiebbarer Platte. Das Leitrohr AB setzt sich in der Länge von etwa 11 m durch die zwei Wände $W_1 W_1$ und $W_2 W_2$ eines zweiten Zimmers in ein drittes Zimmer fort, in welchem $2^1/_2$ m von der Wand entfernt eine trichterförmige Erweiterung der Leitung den Ton auf-

nimmt. Die ganze Leitung besteht aus drei innen ganz glatten Messingröhren von etwas über 3 m Länge und 10 mm innerer Weite, die durch kurze feste Kautschukstückchen miteinander verbunden und außerdem durch zweckmäßige Stützen in horizontaler Lage gehalten werden. Die Löcher in den Wänden W_1 W_1 und W_2 W_2 sind dicht mit Watte verstopft. Alle aus dem Zimmer führenden Türen sind natürlich fest verschlossen bzw. noch durch Teppiche verhängt.

So gelingt es, daß, wenn man sich das freie Ohr mit dem Finger zuhält oder sonstwie dicht verstopft, auch laut gerufene Klänge nur durch das mit der Leitung verbundene Ohr, aber nicht auf anderem Wege gehört werden.

Der Interferenzapparat selbst besteht aus einem Leitrohr *A B* von 90 cm Länge und 10 mm innerer Weite. Dasselbe trägt am Ende *A*

Fig. 58.



einen dickwandigen Gummischlauch von 67 cm Länge mit einem olivenförmigen Ansatz, der ins Ohr gesteckt wird.

Das andere gegenüberliegende Ende *B* ist, wie schon erwähnt, mit der langen Röhrenleitung durch ein kurzes, fest anliegendes Kautschukstückchen verbunden. Alle Knickungen sind sorgfältig vermieden. Die seitlichen Ansatzröhren *I I*, *II II* ... *VI VI* an der Röhre *A B* sind Messingröhren von derselben Weite wie die Röhre *A B*. Sie sind von *I I* bis *VI VI* bzw. 50, 60, 70, 80, 90, 100 cm lang und in einem Abstand von je 10 cm rechtwinkelig auf das Rohr *A B* aufgesetzt. Die erste und die letzte Röhre ist je 20 cm von *A* bzw. *B* entfernt. In den genau ausgeschliffenen Seitenröhren bewegen sich gut schließende Stempel mit hölzernen Führungsstielen, welche in Centimeter eingeteilt sind. Die Zahl 0 bezeichnet, daß der Stempel gerade bis an die ihm nächstgelegene Wand der Röhre *A B* heranreicht und diese selbst voll-

kommen freiläßt. Die anderen Zahlen geben dann die Länge der Ansatzröhren ohne weiteres an.

Grützner berichtete auf der Naturforscherversammlung in Halle über die ersten Versuche, daß, wenn man bei den Vokalen *a*, *o* *u* den charakteristischen Ton auslöschte, sich in bestimmten Tonhöhen *a* in *o*, *o* in *u* und *u* in ein brummendes *m* verwandelte. Brachte man dagegen den Ton, auf welchem gesungen wurde, zur Interferenz, so änderte er sich wenig. Der Vokal wurde nur schwächer und klang wie aus der Ferne gesprochen. Grützner weist (Sauberschwarz, S. 16) darauf hin, daß Helmholtz schon auf die Tatsache aufmerksam gemacht hat, daß man aus zusammengesetzten Klängen die Obertöne oft unmittelbar heraushören kann, namentlich wenn man die Klänge aus der Ferne höre, und daß Seiler in Leipzig erwähnt habe, „daß er in schlaflosen Nächten, auf den Gesang des Nachtwächters lauschend, die Duodezime des Gesanges gehört habe und später erst den Grundton". Ich selbst kann dazu hinzufügen, daß ich den tiefen Glockenton meiner großen Wanduhr auf *Cis* in der Entfernung durch zwei abgeschlossene Zimmer hindurch in meinem eigenen Arbeitszimmer auf gis höre. Es scheint in der Tat diese Tonhöhenveränderung, wie sie Grützner hervorhebt, auch für die Beurteilung der Bauchrednerstimme von Bedeutung zu sein.

Aus den Sauberschwarzschen Untersuchungen ergibt sich nun umgekehrt, daß man imstande ist, durch Auslöschen einer Reihe harmonischer Teiltöne aus einem Vokalklang diesen allmählich zu vernichten. Im einzelnen zeigt sich dabei folgendes:

1. Je höher wir im Singen der Vokale steigen, um so mehr wird durch Wegnahme des Grundtons und seiner ungeradzahligen Obertöne die Erkenntlichkeit der Vokale beeinträchtigt. Überhaupt leidet (wenn auch natürlich in viel geringerem Grade) auch ohne jede Interferenz durch die bloße Röhrenleitung ein Vokalklang in der Regel um so mehr, je höher er gesungen wird.

2. Die Wegnahme des Grundtons und der ungeradzahligen Teiltöne schädigt die verschiedenen Vokale nicht in gleicher Weise. Am wenigsten beeinträchtigt wird das *a*, am meisten das *u*, die übrigen Vokale stehen in der Mitte.

In den verschiedensten Tonhöhen behält hierbei das *a* am deutlichsten seine charakteristische Klangfarbe, wie es ja auch bekanntlich sonst am leichtesten und deutlichsten von allen Vokalen in den verschiedensten Höhen gesungen werden kann. Das Singen einer Melodie oder von Tonleitern auf la, la, la ist hierfür der beste Beweis.

Das *u* hingegen wird in seiner Kenntlichkeit schon stark beeinträchtigt, wenn es auf *c* gesungen und dieses *c* ausgelöscht wird. In höheren Lagen wandelt es sich durch ein unbestimmtes *o* in ein *a* oder einen *a*-artigen Klang um und geht schließlich ganz verloren.

In der Mitte zwischen *a* und *u* stehen *o*, *e* und *i* und deren Umlaute *ö*, *ä* und *ü*, die sich, in den verschiedenen Höhen gesungen, durchweg, meistens aber nicht so auffällig, verändern und erst in den

höheren Lagen ihre charakteristische Färbung ganz verlieren. In den mittleren Lagen nähern sich die Umlaute oft den reinen Vokalen.

3. Die Wegnahme des Grundtons und seiner ungeradzahligen Teiltöne mitsamt seiner Oktave und deren ungeradzahligen Teiltönen verwandelt alle Vokale in allen Tonlagen in einfache Pfiffe. Nur das *i* und das *ü* scheinen mitunter etwas von ihrem Charakter zu behalten.

4. Bei dieser doppelten Auslöschung unterscheiden sich die Vokale untereinander nur durch die Stärke der gehörten Töne oder Pfiffe. Am lautesten tönt *a*, am leisesten *i*. Dazwischen stehen *o*, *e* und die Umlaute, sowie das *u*, welches nur ein wenig lauter als das *i* klingt. Häufig mischt sich den Pfiffen, namentlich bei *i*, *ü* und *u*, ein eigentümliches Hauchen oder Rauschen bei.

Endlich mag hier noch die Klanganalyse der menschlichen Stimmklänge durch die Königsche manometrische Flamme erwähnt sein, deren Beobachtung ja in dem bekannten Königschen Drehspiegel oder auch objektiv mit der Photographie erfolgt. Dadurch würde diese Methode zu den graphischen Untersuchungsmethoden der Klanganalyse gehören. Leider ist die Brauchbarkeit der Methode sehr zweifelhaft, da Nagel nachgewiesen hat, daß der Bewegungsvorgang der schwingenden Membran schon bei mäßigen Frequenzen entstellt wiedergegeben wird. Am sichersten beschränkt man die Anwendung dieser Methode auf die bekannte Verbindung einer Anzahl von Königschen Flammen mit einer Serie von Resonatoren. Pipping hebt aber schon hervor, daß diese Einrichtung für Töne über c''' nicht gut brauchbar sein soll, und daß man sich außerdem nicht darauf verlassen könne, daß die Resonatoren ihre verschiedenen Resonanztöne in gleichem Grade verstärken. Doumer photographierte die Klangkurven der Königschen Flamme. Marage benutzte für die Königsche Flamme Acetylengas, das ja entschieden heller ist als Leuchtgas, aber sonst nicht die von Marage hervorgehobenen Vorzüge hat. Mit Recht hat besonders Samojloff scharfe Kritik an den Marageschen Resultaten geübt. Die Königsche Flamme ist in der Tat zur Klanganalyse durchaus ungeeignet. Das einzige, was man von ihr erwarten kann, ist, daß sie die Tonhöhe richtig anzeigt; zur Feststellung der Tonhöhe, beispielsweise bei schnellem Sprechen, läßt sie sich aber ausgezeichnet verwenden. Marbe hat dafür ein einfaches und bequemes Verfahren angegeben, daß ich bereits früher erwähnte.

b) Graphische Darstellung der Vokalklänge.

Der erste, der eine graphische Darstellung der Vokalklänge versuchte, war auch wieder F. C. Donders, der den Phonautographen von Scott und König dazu benutzte, der ein ungefähr 50 cm langes, hohles Ellipsoid von Gips oder Metall darstellt, das an der einen Seite offen, an der anderen durch einen festen Boden bedeckt ist. In dessen Mitte ist ein kurzes Rohr eingesetzt, das durch eine elastische Membran von Goldschlägerhaut oder Kautschuk geschlossen wird. Auf diese Membran ist ein kleines Schreibfederchen aufgekittet. Die Vibrationen werden auf einen berußten Zylinder aufgezeichnet. Pipping bemerkt mit Recht, daß der Apparat für die Vokale *u* und *i* bei Donders nahezu einfache Sinuskurven schrieb und damit seine Unfähigkeit beweist, hohe Partialtöne überhaupt zu registrieren. Auch Donders selbst hielt die Dämpfung der Membran für ungenügend, denn er sagt: „Große Verschiedenheit der Spannung und der Federchen modifizieren die relative Größe der den verschiedenen Partialtönen entsprechenden Amplituden".

Der Logograph von Barlow stellt eine kleine Trompetenmündung dar, deren erweitertes Ende mit einer Öffnung von 7 cm endete, welche durch eine kleine Kautschukmembran verschlossen war. Ein kleiner Aluminiumarm, der am Rande der Trompetenmündung befestigt war, stützte sich auf die Mitte der Kautschukmembran und trug an seinem äußersten Ende einen kleinen Marderhaarpinsel, der mit Farbe getränkt war. Unter der Spitze des Pinsels lief ähnlich wie bei dem Telegraphen ein Papierstreifen. Rousselot, dem ich diese Beschreibung entnehme, betont schon, daß die Anwendung des Pinsels nicht zu billigen sei, weil die Vibrationen, selbst wenn sie von der Membran wiedergegeben wurden, Gefahr liefen, durch den Pinsel nicht aufgeschrieben zu werden. Schneebeli und Hipp konstruierten einen besonderen Phonautographen, der ähnlich wie der Scottsche Phonautograph konstruiert war, aber statt der bisherigen Membran war eine Membran ähnlich wie beim Telephon zur Herstellung der Vibrationen benutzt worden. Ein zweiter Schreibstift zog neben der Vibrationskurve eine gerade Linie, so daß von ihr aus die Kurven mittels eines Mikrometers gemessen werden konnten.

Da die Kurven stets sehr klein ausfielen, so kam E. W. Blake auf die Idee, an die Telephonmembran einen kleinen Faden aus Stahl zu befestigen und diesen mit einem drehbaren Spiegelchen in Verbindung zu bringen. Die geringsten Bewegungen des von einem Sonnenstrahl beleuchteten Spiegelchens wurden auf eine mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegte photographische Platte übertragen. W. H. Preece und A. Stroh ersetzten die Metallmembran durch ein dünnes Kautschukplättchen, welches sie mittels eines Papierkonus herausstülpten, dessen Spitze eine mit Anilintinte versehene Schreibfeder trug, die, ähnlich wie bei dem Barlowschen Logographen, auf Streifen von Telegraphenpapier schrieb. Boltzmann nahm eine Mikrophonplatte, die er auf eine Luftkapsel legte, und deren Zentrum eine sehr kleine Platinlamelle trug. Diese beleuchtete er mit Sonnenlicht und warf ihr Bild auf einen Schirm. Mittels einer Zylinderlinse verwandelte er dieses geradlinige Bild in einen Punkt, der auf einem sich drehenden Zylinder photographiert werden konnte. Rigollot und Chavanon benutzten eine sogenannte Capsule palmoptique (palmikos ist das Adjektiv von palme, die Schwingung). Die Kapsel war mit einer kleinen, sehr elastischen Membran verschlossen, gegen deren Zentrum ein kleines Prisma von Kautschuk befestigt war, dessen Bewegungen auf einen kleinen Silberspiegel von 5 mm Seitenlängen übertragen wurden.

In ähnlicher Weise verfuhr Hermann in seinen ersten Arbeiten, indem er kleine Silberspiegel benutzte, die zunächst 10 mm, dann 5 mm Durchmesser hatten. Hermann ließ eine vertikale Fläche ansingen oder ansprechen, die entweder aus einer Eisen-, Glimmer-, Holz- oder Papierplatte oder aus einer gespannten Membran bestand. Auf diese lehnte sich das genannte Spiegelchen, welches infolge der Schwingungen der Anschlußfläche um eine vertikale Achse schwang. Vor einer Bogenlichtlampe befand sich ein vertikaler Spalt seitwärts etwa 2 cm vom Spiegelchen angebracht, und dicht vor dem Spiegelchen zwischen dem Spiegel und dem Spalt war eine gewöhnliche Konvexlinie von 1 bis $1^1/_2$ Dioptrien eingeschaltet, mittels deren das Spiegelchen ein reelles verkleinertes Bild des Spaltes lieferte, das auf einer schwarzen Blechplatte mit einem feinen horizontalen Spalt aufgefangen wurde. Durch die Schwingungen des Spiegelchens verschob sich das vertikale Spaltbild parallel mit sich selbst

in horizontaler Richtung, so daß der aus der Kreuzung des Bildes mit dem Spalt hervorgehende Lichtpunkt horizontal oszillierte. Diese Oszillationen wurden, indem sie auf eine dicht hinter dem Spaltblech sich in vertikaler Richtung bewegende empfindliche Papierfläche fielen, unmittelbar photographiert, und zwar entweder mittels eines mit photographischem Papier überzogenen Kymographions oder mittels einer einfachen Camera, bei der nur die Schlitze um 90° gedreht waren, so daß der nun vor der photographischen Platte stehende senkrechte Spalt mit der Hand vor der Platte vorbeigezogen werden konnte. Hermann erzielte auf diese Weise graphische Darstellungen, die, wie er selbst sagt, nach dem Urteile aller, welche sie gesehen haben, hinsichtlich ihrer Deutlichkeit, Feinheit und Eleganz alles bisher Bekannte übertrafen.

Der im Jahre 1878 erfundene Phonograph von Edison wurde schon bald nach seiner Bekanntmachung sofort von Forschern dazu benutzt, um eine graphische Analyse der Vokalklänge damit anzubahnen. Die meisten Autoren benutzten dazu Fühlhebel, die sie in den Glyphen des Phonographen gleiten ließen, und deren Bewegung sie auf berußte Flächen übertrugen. In dieser Weise haben Fleeming, Alfred M. Mayer, Jenkin und J. A. Ewing gearbeitet, ebenso J. Lahr, Fick und in neuester Zeit Scripture. Das Prinzip derartiger Übertragungen der Vertiefungen in gewöhnliche Kurven ist stets das von Alfred M. Mayer zuerst angegebene. Er ließ einen Fühlhebel mit dem kurzen Arm in die Vertiefung sinken, so wie der Stift der Membran des Phonographen es bei der Reproduktion der Laute tut, „während der längere Arm einer gleichmäßig fortbewegten berußten Glasplatte das vergrößerte Profil der Vertiefungen aufzeichnete". Am umfangreichsten und mit zum Teil außerordentlich komplizierten Apparaten ausgeführt sind in dieser Weise die Versuche von Scripture. Alle diejenigen aber, welche die Versuche dieses Forschers mit anzusehen Gelegenheit hatten, und die ich befragen konnte, sind der Meinung, daß die von ihm verwendeten Maschinen zur vergrößerten Nachzeichnung der Glyphik Resultate geben müssen, die nicht zu einer feineren Analyse verwendet werden können, da die in Bewegung gesetzten Massen zu erheblich waren und man annehmen kann, daß die so erzeugten Kurven eine große Reihe von Fehlern aufweisen. Nagel ist der Meinung,

daß man den Apparat höchstens zur Untersuchung der Stimmhöhe und des Akzentes benutzen könne.

Einen neuen Weg der graphischen Aufzeichnung der Sprachklänge beschritt Hensen. Er berichtet darüber in seiner Arbeit: „Über die Schrift von Schallbewegungen". Er beschreibt seinen Apparat als Sprachzeichner, erwähnt, daß er bereits in Grützners Physiologie abgebildet wurde, und stellt als wünschenswert hin, daß bei der Konstruierung eines Apparates davon ausgegangen werde, daß Bewegungen, die das Trommelfell selbst mache, um uns die Schallwellen zu übermitteln, möglichst zur Analyse gebracht würden. Da man das Trommelfell dazu bisher noch nicht benutzen könne, so sei es am richtigsten, dasselbe nachzuahmen. Hensen benutzt eine Membran aus Goldschlägerhaut, die auf eine Trommel von 36 mm Durchmesser aufgebunden, dann durchfeuchtet und mit Hilfe eines Holzzylinders mit konischem Ende, der genau in die Trommel hineinpaßt, trichterförmig vorgetrieben wird. Auf der Spitze des Holzkeiles liegt ein kleines Metallplättchen, gegen welches der Schreibhebel angeschraubt wird. Wenn dann die Haut trocken geworden ist, behält sie die trichterförmige Gestalt bei, und man kann den Holzzylinder entfernen. Der Schreibhebel ist auf diese Weise auf die Mitte der trichterförmig ausgestülpten Membran befestigt. Er dreht sich um eine Achse, welche am Rande der Trommel fixiert ist. An der Spitze des Aluminiumschreibhebels ist rückläufig eine feine Feder angebracht. An ihrer Spitze wird auf einem Schlitten eine fein berußte Glasplatte vorbeigezogen. Pipping ließ später einen kleinen Diamanten die Kurven direkt auf die Glasplatte einschneiden.

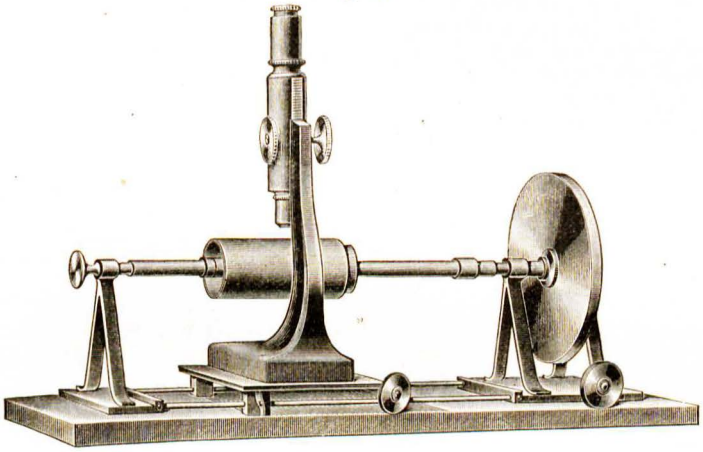
Endlich hat Hermann den Phonographen selbst benutzt und den Reproducer durch einen besonders konstruierten, in seine Fassung passenden Aufnahmeapparat ersetzt, der das gleiche kugelige Köpfchen benutzt, welches am Reproducer angebracht zu sein pflegt. Die Bewegungen des kugeligen Köpfchens werden auf ein Spiegelchen übertragen, und das weitere Verfahren ist genau so, wie früher beschrieben. Um möglichst keine Eigenschwingungen des Spiegelreproducers herbeizuführen, wurde eine sehr langsame Drehgeschwindigkeit des Phonographenzylinders benuzt, wozu Hermann ein Uhrwerk mit Foucaultschem Regulator anwandte. Das Hermannsche Verfahren hat vor allen

bisherigen den außerordentlichen Vorteil, daß man dabei die Kurven so hoch machen kann, wie man will. Man braucht ja nur den schreibenden Lichtstrahl möglichst lang zu machen. Ebenso kann man die Kurven beliebig lang machen oder sie auch gedrängt darstellen; man braucht nur die Geschwindigkeit des phonographischen oder des photographischen Registrierzylinders zu regulieren: je langsamer ersterer und je schneller letzterer rotiert, desto mehr auseinandergezogen werden die Kurven. Dann ist es von außerordentlichem Vorteil, daß man jederzeit die Walze wieder abhören und sich fortwährend davon überzeugen kann, daß die so aufgenommenen Kurven wirklich der Glyphik des Phonographenzylinders entsprechen. Bei den neueren Edisonschen Phonographen, mit denen Hermann bereits gearbeitet hat, ist die Wiedergabe eine so ausgezeichnete, daß die auf diese Weise gewonnenen Klangkurven, soweit wir dies heutzutage mit unseren Mitteln überhaupt erreichen können, jedenfalls als durchaus zuverlässig angesehen werden müssen. Auch Hensen versuchte, seinen Sprachzeichner die aufgesprochenen Klänge wiedergeben zu lassen. Er betont, daß der Apparat wegen der großen Dämpfung sehr leise spricht, meint aber, daß er deutlich spräche. Noch bessere Resultate scheint das Poulsensche Telegraphon zu versprechen.

In ganz anderer Weise verfuhr Boeke, der die Breite der in das Wachs eingegrabenen phonographischen Glyphen ausmaß und aus der Breite die Tiefe berechnete. Die direkte Tiefenmessung erwies sich als unnötig, da Breite und Tiefe eines Eindrucks das gleiche Verhältnis zeigen wie das der Ordinate zur Abszisse einer Ellipse, deren große Achse der Diameter des zylindrischen Durchmessers und deren kleine Achse dessen Radius ist. Die Tiefe des Einschneidens des Hohlmessers, bevor die phonographische Membran besprochen wird, hat keinerlei Einfluß auf die Gestalt der Kurven, da ja deren Ordinaten sämtlich mit demselben Werte vermehrt werden. Den Diameter des Hohlmessers bestimmte er durch Einschneiden desselben in den Paraffinüberzug einer Glasplatte, die unter dem Mikroskop mittels Okularmikrometers untersucht wurde, zu 77 Mikrometerteilen, deren Wert mittels Objektivmikrometers zu 0.0135 mm bestimmt war, so daß als Diameter des Hohlmessers 1,035 mm gefunden wurde. Sehr praktisch ist die Anordnung des mit den Glyphen versehenen

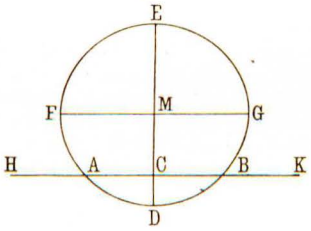
Wachszylinders unter einem verschiebbaren Mikroskop, wie es die Fig. 59 zeigt. Besonders die Höhen der gesprochenen Laute lassen sich mit dem Boekeschen Apparat außerordentlich schnell und leicht bestimmen, und wir haben bereits gesehen, welche praktische Anwendungen diese Untersuchungsmethode gefunden hat.

Fig. 59.



Eine genauere Beschreibung jener Berechnung gibt Boeke in seiner zweiten Arbeit, S. 498: „Es sei $EGDF$ (Fig. 60) der senkrechte Durchschnitt des Rekorders, HK der Längsschnitt der Oberfläche des Phonographenzylinders, $ACBD$ der senkrechte Durchschnitt der Rinne, welche der Rekorder in die Oberfläche des Wachszylinders hineingräbt, $AB = b$ deren Breite, $CD = d$ deren Tiefe und $FG = 2r$ der Durchmesser des Rekorders.

Fig. 60.



Wäre die Achse des Rekorders der tangierenden Fläche des Phonographenzylinders an der Stelle, wo der Rekorder dessen Oberfläche berührt, genau parallel, und schnitte also die verlängerte Fläche der schneidenden Ecke des Rekorders die Achse des Phonographenzylinders, so hätten wir die Gleichung:

$$(\tfrac{1}{2}b)^2 = d\,.\,(2r - d) \quad \text{oder} \quad d^2 - 2dr + \tfrac{1}{4}b^2 = 0 \;.\;. \quad (1)$$

woraus folgt:

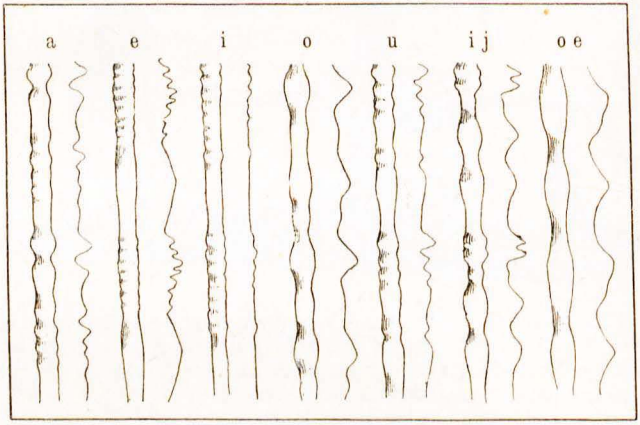
$$d = r \pm \sqrt{(r + \tfrac{1}{2}b)\,(r - \tfrac{1}{2}b)} \;.\;.\;.\;.\;.\;. \quad (2)$$

Die Gleichung (1) ist diejenige einer Ellipse, deren Achsen $2r$ und r sind, und hieraus erhellt, daß, wie oben gesagt, die Breite und Tiefe einer Eingrabung an derselben Stelle sich zueinander verhalten wie eine Abszisse zu der betreffenden Ordinate in der oben erwähnten Ellipse.

Nun ist zwar die Annahme, daß die Achse des Rekorders der tangierenden Fläche an der Stelle der Berührung parallel sei, falsch, da dieselbe einen gewissen Winkel α (von ungefähr 30°) mit dieser Fläche bildet; aber dieser Umstand hat nur zur Folge, daß d mit dem konstanten Faktor $\cos\alpha$ multipliziert werden muß, um dessen wirklichen Wert zu erhalten.

Bei Vokalkurven kommt es jedoch nur auf die relativen, nicht auf die absoluten Werte der Ordinaten an, so daß dieser Umstand ohne

Fig. 61.



Bedeutung ist. Zwar muß zugestanden werden, daß der Winkel α durch die Bewegung der Glasmembran, welche die des schneidenden Messers regelt, sich fortwährend ändert; aber diese Änderungen sind so verschwindend klein, daß deren Einfluß auf die berechneten Tiefen d getrost vernachlässigt werden kann.

Mittels der Formel (2) wurde ein für allemal eine Tabelle sämtlicher Werte d berechnet, welche mit je einer gemessenen Breite b korrespondieren konnten. Zur genauen Bestimmung des Diameters $2r$ des eingrabenden zylindrischen Messers wurde dasselbe in eine dünne Paraffinschicht, welche auf einer Glasplatte angebracht worden war, hineingeschnitten und nachher mittels desselben Okularmikrometers, der zur Breitenmessung benutzt wurde, ausgemessen. Dieses Diameter wurde auf 56 Teile des Mikrometers oder auf 1,0318 mm bestimmt.

Da die größte Breite der Eingrabungen nur ausnahmsweise 20 Teile desselben Mikrometers erreichte, so überstieg die größte Tiefe der Eingrabungen noch nicht $^1/_{30}$ des Rekorderradius oder 0,017 mm."

Von der Form der Einkerbungen sowie den aus den Einkerbungen durch die genannte Berechnung erschlossenen Kurven gibt Fig. 61, die ich aus der Boekeschen Arbeit abgezeichnet habe, eine recht gute Anschauung. Von *a, e, i, o, u, ij, oe* sind zwei einander folgende Perioden wiedergegeben, und zwar in der Stimmnote von 200 Schwingungen, also *gis*. Von diesen Vokalen werden *a, e, i, o* im Holländischen fast genau so wie im Deutschen ausgesprochen. Der im Holländischen mit *u* bezeichnete Vokal klingt wie ü im deutschen Worte „führen". Das *ij*, das gewöhnlich wie der deutsche Diphthong ei klingt, zeigt sich im Holländischen in geschlossenen Silben in so gleichmäßigen Perioden, daß man einen einfachen Vokal annehmen kann. Das holländische Buchstabenzeichen *oe* entspricht dem deutschen u in „du" und „Uhr".

Ein neues Verfahren hat Samojloff angegeben, der eine dünne Korkscheibe als schwingende Membran verwandte, die ihre Bewegungen ebenfalls durch eine einfache Anordnung überträgt, deren Prinzip der Spiegelanordnung *s* (Fig. 62) mit dem oben bereits beschriebenen Apparat von Rigollet und Chavanon gleich ist. Man kann, wie Nagel hervorhebt, den Samojloffschen Apparat auch zur Demonstration der Vokalkurven vor einem großen Auditorium benutzen, indem man den oszillierenden Lichtstrahl auf einen Königschen Spiegel fallen und von diesem auf eine weiße Wand reflektieren läßt. Durch Einschaltung einer sehr schwachen Konvexlinse wird auf der Wand eine fast punktförmige Lichtwelle abgebildet. Die Korkmembran ist übrigens zuerst von Lebedeff empfohlen worden. Schon Samojloff betont gegenüber den vielfachen Versuchen Hermanns an Membranen aus Eisen, Glimmer, Glas, Karton usw., daß die nicht elastischen, leicht biegsamen, aus Seide, Tuch u. dgl. geschnittenen Membranen den Vorzug verdienen, da sie keinen ausgesprochenen Eigenton besitzen, und hebt

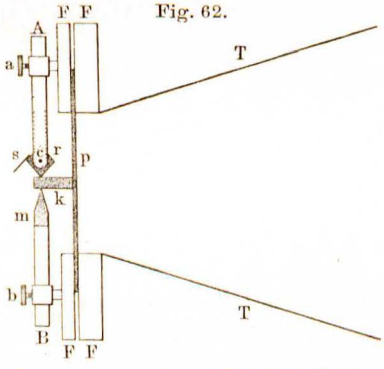


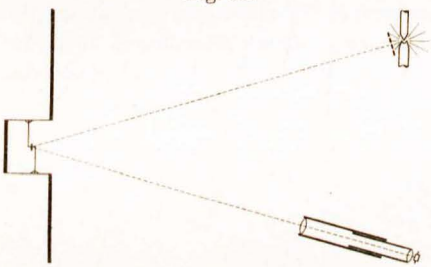
Fig. 62.

Apparat zur Projektion und Registrierung der Stimmschwingungen, nach Samojloff.

hervor, daß es bekannt sei, daß Edison bei der Konstruktion seines Phonographen von Anfang an eine Seidenmembran angewendet habe. Der Nachteil dieser biegsamen Membranen bestehe nur darin, daß man sie nicht sicher genug mit einem Spiegel bzw. mit einem Hebel verbinden könne. Spanne man sie, um ihnen einen festen Halt zu geben, sehr stark, so verlören sie ihre Vorzüge und würden ebenso unbrauchbar wie gedehnte Gummimembranen. Das ist der Grund, weswegen er die Korkmembran Lebedeffs zu seinen Versuchen angewandt hat.

Nun ist in neuerer Zeit Struycken-Breda zur Konstruierung eines ganz anderen Apparates für die graphische Darstellung der Vokalklänge gekommen. Struycken benutzt die Erschütterungen zweier gegenüberliegender Seitenwände eines vorn offenen Kästchens. Sie sind gefertigt aus dünnen glatten, aber ungespannten Blättchen von chinesischem Seidenpapier. Außerordentlich feine dünne Metalldrähtchen gehen von jeder der beiden Papierflächen, die übrigens die Seitenflächen jenes Kästchens nicht etwa luftdicht abschließen, sondern zwischen ihrem Hinterrande und den beiderseitigen Kanten der hölzernen Hinterwand einen Schlitz freilassen, zu zwei Querarmen, die am unteren Rande eines sehr kleinen Spiegels angebracht sind. Die Winkel zwischen den Querarmen und den von den Seitenflächen ausgehenden feinen Metalldrähten werden mit einem Kautschukfaden hergestellt, so daß sie gleichsam ein außerordentlich leicht bewegliches Gelenk bilden. Treten nun Schallwellen in das Kästchen hinein, so werden die beiden Seitenmembranen in entgegengesetzte Schwingungen geraten und bei der Vergrößerung der Entfernung voneinander den rechten Winkel zwischen den Drähten und dem Querarm (Fig. 63) zu einem mehr oder weniger stumpfen, bei gegenseitiger Annäherung der Papierwände zu einem mehr oder weniger spitzen Winkel umformen. Diesen Bewegungen entsprechend dreht sich der kleine Spiegel um eine vertikale, ideelle Achse und bewegt so den von

Fig. 63.



der Lichtquelle auffallenden Lichtstrahl den Schallwellen entsprechend hin und her. Wollte man nun den Spiegel durch ein Fernrohr direkt beobachten, so würde man eine leuchtende Linie sehen. Ein vor dem Okular des Fernrohres befindliches Prisma biegt aber den Strahl nicht nur nach oben um, sondern zerlegt die Linie auch durch fortwährendes Hin- und Herdrehen nach Art des Königschen Spiegels in eine Kurve. Das Prisma wird nämlich durch ein kleines Uhrpendel um die Längsachse der spiegelnden Fläche hin und her gedreht.

Der gesamte Apparat ist außerordentlich empfindlich, wie ich mich selbst zu überzeugen Gelegenheit hatte. Hält man vor das Kästchen eine Stimmgabel, so sieht man die Sinuskurve im Prisma erscheinen. Jedes Geräusch, jedes Sprechen im Untersuchungszimmer wird in Kurven wiedergegeben. Es sollen weiter unten hier einige Vokalkurven, die mir Herr Struycken zur Verfügung stellte, wiedergegeben werden. Nebenbei mag bemerkt sein, daß ein zwischen den Zinken einer großen Stimmgabel in ähnlicher Weise angebrachtes Spiegelchen ebenfalls die Schwingungen der Zinke, selbst wenn man die Stimmgabel noch so leise berührt und dann in ihrer Längsrichtung um den Stiel dreht, in prächtigen Sinuskurven wiedergibt. Erzeugt man durch Klopfen mittels eines Schlüssels den Metallton der Stimmgabel, so sieht man, wie auf der Sinuskurve der sehr hohe Oberton hinüberhuscht und die gerade Linie der Sinuskurve mit lauter kleinen Zacken versieht.

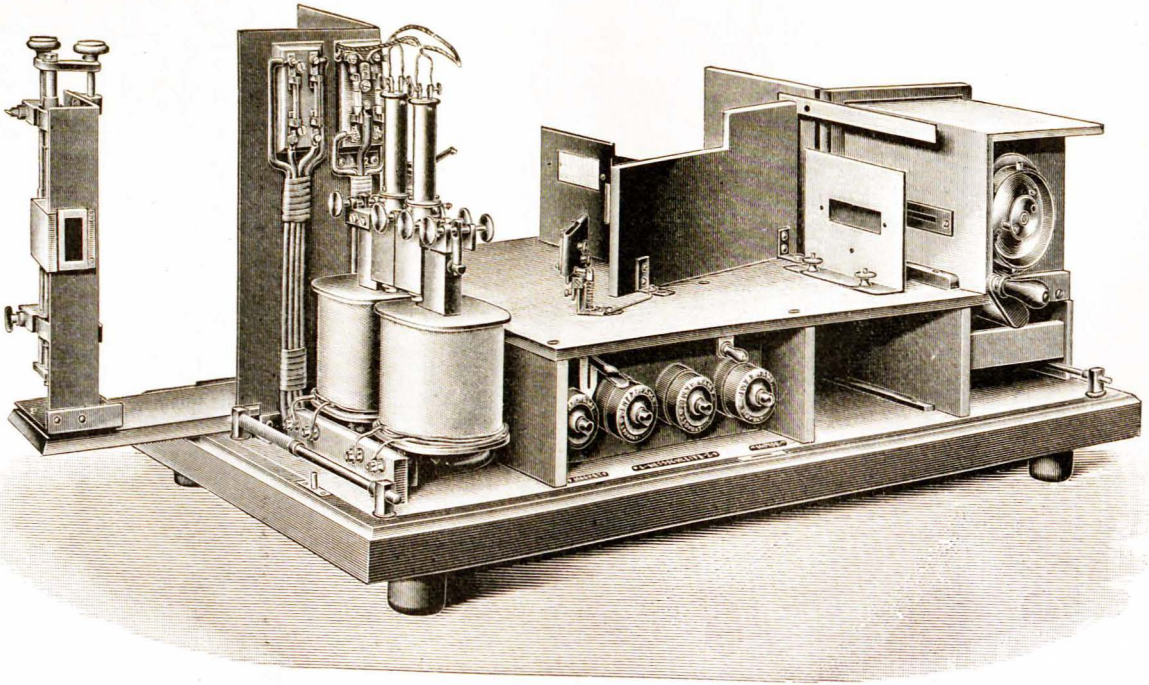
Sehr fein reagiert auch das Phonoskop von Otto Weiß, das noch auf 10 m leise gesprochene Vokale anzeigt, und mit dem man geflüsterte Vokale aufnehmen können soll. Auch soll es beweglich genug sein, um das tonlose *ss* (etwa 6000 Schwingungen) wiederzugeben. Mit diesem Instrument aufgenommene Vokalkurven habe ich noch nicht gesehen. Als Membran dient eine feine, die Newtonschen Farben zeigende Seifenhaut, auf welcher mittels abgebogener Öse ein feiner versilberter Glashebel befestigt ist. Die Bewegungen des Hebels werden photographisch registriert. Die Seifenhaut wiegt höchstens 0,05 mg, der Glashebel höchstens 0,0035 mg, das Gesamtgewicht des schwingenden Systems ist also höchstens = 0,0535 mg, ein bisher allerdings wohl kaum erreichtes Mindestgewicht. (Pflügers Arch., Bd. 123, S. 341, 1908).

Ganz ohne jegliche Membran arbeitet die von Raps angegebene Methode, der die erzitternde Luft unmittelbar in ihren jeweiligen Verdichtungen und Verdünnungen photographiert. Grützner gibt von der Methode folgende Beschreibung: „Denken wir uns zwei Lichtbündel, etwa zwei von einem ausreichend entfernten Punkte ausgehende, auf die Randpartien einer konvexen Linse auffallende Lichtbündel, die natürlich nach der Brechung wieder in einen Punkt jenseits der Linse vereinigt werden. Läßt man eines dieser Lichtbündel durch ein dichteres Medium gehen, so wird es in seinem Weg verzögert und kann mit anderer Phase in dem Vereinigungspunkt ankommen, also mit dem zweiten z. B. so interferieren, daß Dunkelheit in dem betreffenden Punkte eintritt. Geht nun dieser zweite Lichtstrahl durch eine tönende Luftschicht, die fortwährend ihre Dichte ändert, so entstehen, wie leicht begreiflich, fortwährend Schwankungen der Interferenz. Bald eilt dieser Lichtstrahl, wenn sich die Luft verdünnt, dem anderen voraus, bald bleibt er, wenn sie sich verdichtet, zurück.“ So hat Raps die Kurve der Vokale *a*, *o*, *u* photographiert, seine Kurven sind aber nicht so fein wie Hensensche oder Hermannsche.

Marbe hat seine Acetylenflamme direkt durch die Luft angesprochen, also ohne Zwischenschaltung einer Membran. Dabei zeigen sich deutlich neben den stark geschwärzten Ringen des Grundtones noch mehrere Obertonringe. Eine Stimmgabel gibt ganz einfache Ringe. Wie weit die Strömungsgeschwindigkeit des Gases dabei die Kurven beeinflußt, müßte noch untersucht werden. Doumer benutzte bereits bei seinen Versuchen mit der Königschen Flamme möglichst niedrige Flammen (2 mm hoch!), die er dadurch hellbrennend und photographierbar machte, daß er sie in Sauerstoff brennen ließ. Seine Kurven von *i* und *a* zeigen deutlich die kleinen Obertonzacken innerhalb der großen Vokalperiode; sie sind in Rousselots Werk abgebildet. (S. 394.)

Ein ganz anderes Verfahren stammt aus neuerer Zeit und stützt sich auf die Benutzung der Oszillographen. Hauptsächlich englische Forscher: Duddel, Shepherd, Cohen, haben oszillographische Aufnahmen von Telephonströmen gemacht. Derartige oszillographische Aufnahmen hat unter anderen Belá Gati in Budapest angestellt. Er benutzte den Siemens-Blondelschen Oszillographen, schaltete ein Berlinersches Mikrophon in einen

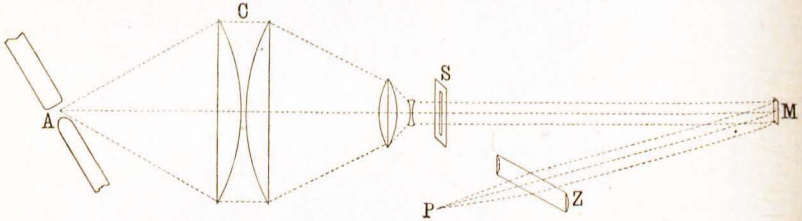
Fig. 64 (nach Orlich).



Blondelscher Oszillograph von Siemens & Halske.

2-Volt-Stromkreis entsprechend ein, ließ den Strom durch eine gewöhnliche Induktionsspule transformieren und den transformierten Strom durch einen induktionsfreien Widerstand von 3000 Ohm führen. Bezüglich der Beschreibung des Oszillographen darf ich wohl auf die Schrift von Ernst Orlich: „Aufnahme und Analyse von Wechselstromkurven“ in der Sammlung „Elektrotechnik in Einzeldarstellungen“ (im gleichen Verlag erschienen), mich beziehen, wo er näher besprochen worden ist. Dort möge auch das Prinzip des Blondelschen Oszillographen, das von Siemens und Halske wesentlich verbessert wurde, nachgelesen werden. Das Spiegelchen des Oszillographen befindet sich in einer Drahtschleife, welche in dem künstlich konzentrierten Felde eines Elektromagneten ausgespannt ist. Die Bewegungen des kleinen Spiegels (M) werden

Fig. 65 (nach Orlich).



Apparat zum Sichtbarmachen der Oszillographenschwingungen.

in bekannter Weise mittels eines optischen Systems, bei dem zunächst ein senkrechter Lichtspalt (S) ein schmales Strahlenbündel auf den Spiegel (M) fallen läßt, welches nachher durch eine Zylinderlinse (Z) in einen Punkt (P) zusammengezogen wird, sichtbar gemacht (vgl. Bolzmanns Apparat, S. 81). Betrachtet man den schwingenden Lichtstrahl im rotierenden Spiegel, so erblickt man die Kurven. Diese Kurven werden zur Analyse von Wechselströmen benutzt. Nimmt man aber ein Telephon bzw. Mikrophon, so kann man, wie schon gesagt, auch ausgezeichnete Vokalkurven aufnehmen, von denen ich weiter unten einige wiedergeben will, die mir von Herrn Ingenieur Kaiser vom Wernerwerke in Berlin zur Verfügung gestellt wurden. Wie ich mich an einem Versuche in dem Wernerwerke selbst überzeugte, kann man auf diese Weise, wenn man in völliger Resonanz mit dem eigentümlichen Apparat, welcher die Kurven

sichtbar macht, einen Vokal gegen das Telephon oder noch besser das Mikrophon spricht, eine stillstehende, glänzende Kurve sehen, welche in allen ihren Teilen große Ähnlichkeit mit den durch Analyse der Phonographen-Glyphik gewonnenen zeigt.

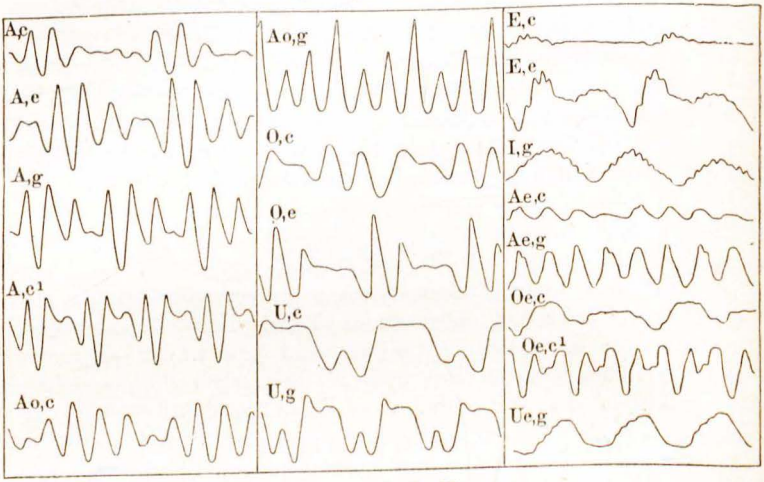
Singt man etwas höher, so verschiebt sich die Kurve natürlich, und zwar um so schneller, je mehr man von dem Resonanzton abweicht. Bei der Oktave steht die Kurve wieder still, da offenbar dann immer nur jedes zweite Kurvenbild geliefert wird.

c. Klangkurven.

Von den mannigfachen durch die eben geschilderten verschiedenen Methoden gewonnenen Vokal- bzw. Klangkurven kommen für die genauere Analyse wohl jetzt nur diejenigen in Betracht, die entweder mit dem Hensenschen Sprachzeichner oder mittels des von Hermann so außerordentlich fein ausgebauten Verfahrens der Lichtübertragung der Glyphik gewonnen worden sind, bzw. die direkten Messungen von Boeke und endlich die zuletzt mitgeteilten Kurven von Samojloff. Klanganalysen der Oszillographenkurven sind bis jetzt noch nicht vorgenommen worden. Daß die Scriptureschen Übertragungen wegen der Ungeheuerlichkeit der Hebellängen und aus vielen anderen Gründen unzuverlässig erscheinen müssen, ist oben bereits erwähnt. Die mit dem Hensenschen Sprachzeichner gewonnenen Kurven wurden zuerst von Wendeler veröffentlicht, aber in ihren Einzelheiten nicht näher analysiert. Er gibt nur die Kurven wieder und bespricht die Einzelheiten der gewonnenen Bilder. Ebenso wurden Kurven von William Martens mit dem Hensenschen Sprachzeichner verfertigt, und von Hugo Pipping eine große Zahl von exakten Analysen der Vokalkurven vorgenommen, auf die wir weiter unten noch näher einzugehen haben werden.

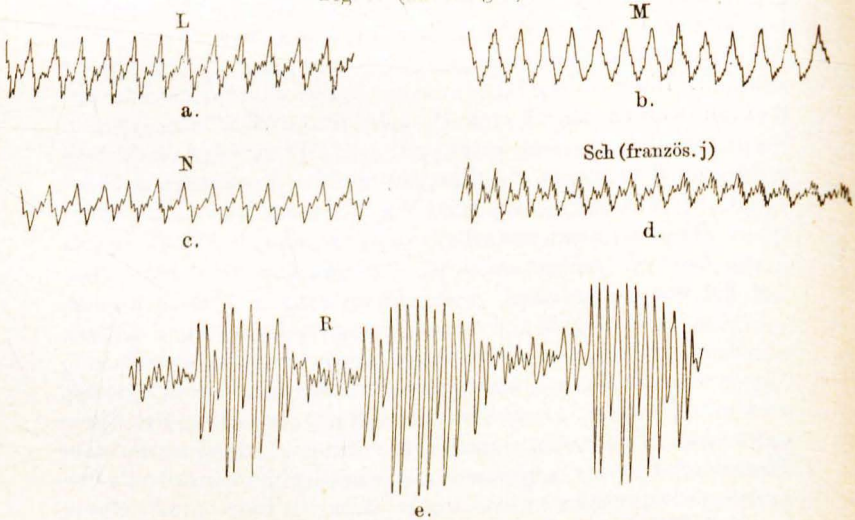
Um einen Begriff von den so zustande gekommenen Kurven zu geben, will ich hier einige Abbildungen derselben folgen lassen. Die erste Abbildung stammt aus einer Hermannschen Arbeit und gibt die Kurven verschiedener Vokale, die, wie in der Figur vermerkt, wieder auf verschiedene Noten gesungen wurden. Ebenso sind in der nächsten Figur verschiedene tönende Dauerlaute wiedergegeben worden, wobei *l*, *m*, *n*, franz. *j* und das *r* sämtlich auf den Ton *c* gesungen wurden. Die nach der außer-

Fig. 66 (aus Nagel).



Vokalkurven nach L. Hermann.

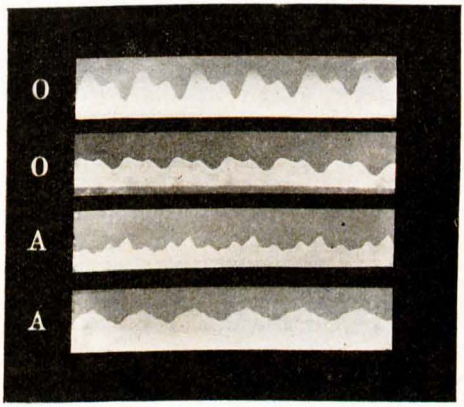
Fig. 67 (aus Nagel).



Phonophotographische Kurven nach L. Hermann.

ordentlich aussichtsreichen Methode von Struycken gewonnenen Klangfiguren gebe ich hier ebenfalls in einigen Beispielen, die mir von Herrn Struycken zur Verfügung gestellt wurden, wieder. Sie sind einfach mit der fallenden photographischen Platte aufgenommen worden. Struycken muß, wenn er die Zeit dabei gleichzeitig verzeichnen will, eine an einer Stimmgabelzinke schwingende Borste direkt vor der zu photographierenden Fläche sich aufzeichnen lassen, weil der Schallaufnahmeapparat oder Hörapparat, wie er ihn nennt, so außerordentlich empfindlich ist, daß eine in die Nähe gehaltene Stimmgabel natürlich auch die

Fig. 68.



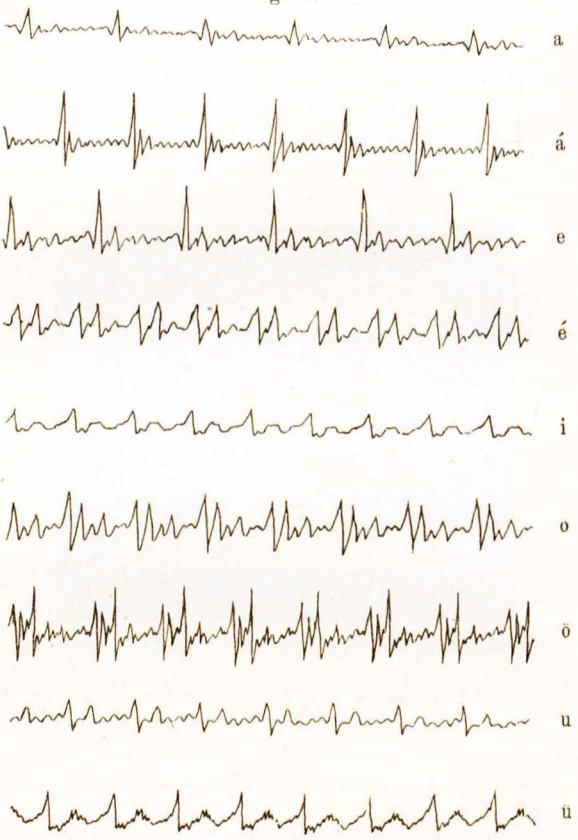
Vokalkurven, von Struycken aufgenommen.

Vokalkurve ohne weiteres verändern würde. Endlich seien als Beispiele für das, was der Oszillograph leistet, einige Figuren hier wiedergegeben, die erste aus der Arbeit von Béla Gati, als zweite diejenige, welche mir Herr Ingenieur Kaiser zur Verfügung stellt.

Schließlich gebe ich hier einige Kurven von Katzenstein wieder, die derselbe mit dem Samojloffschen Apparat gewonnen hat. Sie geben den Vokal *a* auf Note *g* gesungen 1. normal, 2. nasal gesprochen, 3. verstopft nasal gesprochen, 4. bei verschlossener Nase. Katzenstein machte den interessanten Versuch, die Stimme mit Ausschaltung des Ansatzrohres aufzunehmen, indem er sich ein Rohr auf die Öffnung des Larynx schieben ließ.

Die so gewonnene Kurve 5 zeigt eine fast reine Sinuskurve, ein Zeichen dafür, daß die mannigfachen Obertöne in der Tat erst hauptsächlich im Ansatzrohr zugefügt werden.

Fig. 69.



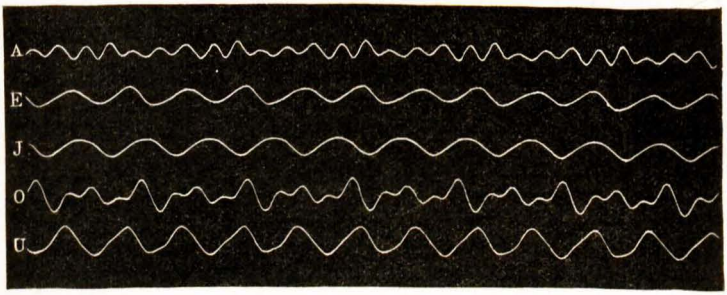
Oszillographische Vokalkurven nach Béla Gati.

d. Analyse der Klangkurven.

Die geschilderten Klangkurven kann man sich entstanden denken durch Zusammensetzung einfacher pendelartiger Schwingungen. Andererseits kann man jede Kurve, welche eine zu-

sammengesetzte Klangmasse wiedergibt, in eine Summe einfacher pendelartiger Schwingungen zerlegen, beides allerdings unter der Voraussetzung, daß die Schwingungszahlen der einfachen Schwin-

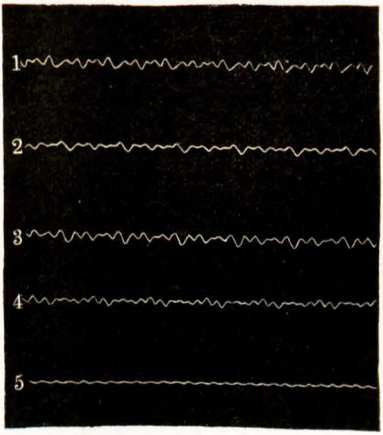
Fig. 70.



Oszillographische Vokalkurven, von Kaiser (Wernerwerk) aufgenommen.

gungen ein-, zwei-, drei-, vier- usw. mal so groß sind als die Schwingungszahl der gegebenen Periode. Der berühmte Mathematiker Fourier hat zur Analyse dieser Kurven die mathematische Grundlage geliefert. Für die Ausmessung und Zerlegung der phonautographischen Kurven gibt Hermann im Anschluß an die Hensenschen Darlegungen im Handbuche der Physiologie eine Reihe von Vorschriften, verknüpft mit einer Anzahl von Erleichterungen für die Berechnungen.

Fig. 71.



Vokalkurven von Katzenstein.

Man hat zunächst eine größere Zahl von Ordinaten (im allgemeinen 40) der Klangkurven genau auszumessen, was entweder an photographischen Vergrößerungen oder direkt unter dem Mikroskop, wobei Hermann den mikro-

skopischen Objekttisch von Fueß benutzte, geschehen kann. Die Grundlagen der Berechnung gebe ich hier nach Hermann etwas abgekürzt wieder.

Die Gleichung der Kurve sei $y = f(x)$. Ferner sei die Abszissenlänge einer ganzen Periode in n gleiche Teile von der Länge h eingeteilt, so daß dieselbe nh ist. Dann läßt sich $f(x)$ nach dem Fourierschen Lehrsatz in folgenden Reihen entwickeln:

$$\left.\begin{aligned} f(x) = \frac{1}{2}a_0 + a_1 cos\frac{2\pi}{nh}x + a_2 . cos\,2 . \frac{2\pi}{nh}x + a_3 cos\,3 . \frac{2\pi}{nh}x + \cdots \\ + b_1 sin\frac{2\pi}{nh}x + b_2 sin\,2 . \frac{2\pi}{nh}x + b_3 . sin\,3 . \frac{2\pi}{nh} . x + \cdots \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

worin die konstanten Koeffizienten a_0, a_1, b_1, a_2, b_2 . . . durch folgende Gleichungen bestimmt sind:

$$\left.\begin{aligned} a_r &= \frac{2}{nh}\int_{-\frac{nh}{2}}^{+\frac{nh}{2}} f(x)\, cos\, r\frac{2\pi}{nh}x\,dx = \frac{2}{nh}\int_0^{nh} f(x)\, cos\, r\frac{2\pi}{nh}x\,dx \\ b_r &= \frac{2}{nh}\int_0^{nh} f(x)\, sin\, r\frac{2\pi}{nh}x\,dx \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Die Konstanten a_0, a_1, b_1 usw. sollen nun empirisch aus einer Anzahl ausgemessener Werte von $f(x)$ annähernd bestimmt werden. Denkt man sich am Anfang jedes der n Teile der Abszisse eine Ordinate der Kurve errichtet und bezeichnet dieselben mit $y_0, y_1, y_2, y_3 \cdots y_{n-1}$, so sind aus diesen n Werten von y die Koeffizienten a_0, a_1, b_1 . . . um so genauer zu bestimmen, je größer die Zahl n ist.

Die Integrale der Gleichungen (2) verwandeln sich jetzt in Summen, in deren Gliedern x sukzessiv die Werte 0, h, $2h$, $3h$ . . . $(n-1)h$, und $f(x)$ die (durch Messung gewonnenen) Werte y_0, y_1, y_2, y_3 . . . y_{n-1} durchläuft, ferner dx den Wert h annimmt. Setzt man nun die Länge der ganzen Periode $nh = 2\pi$ (wodurch die Gleichungen (1) eine vereinfachte Gestalt annehmen), so wird offenbar

$$\left.\begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{n}(y_0 cos\,0 + y_1 cos\,0 + y_2 cos\,0 + \cdots + y_{n-1} cos\,0) \\ &= \frac{2}{n}\sum_{\nu=0}^{\nu=n-1} y_\nu \\ a_1 &= \frac{2}{n}(y_0 cos\,0 + y_1 cos\,h + y_2 cos\,2h + \cdots + y_{n-1} cos\,[n-1]h) \\ &= \frac{2}{n}\sum_0^{n-1} y_\nu cos\,\nu h \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned} a_2 &= \frac{2}{n}(y_0 \cos 0 + y_1 \cos 2h + y_2 \cos 4h + \cdots + y_{n-1} \cos 2[n-1]h) \\ &= \frac{2}{n}\sum_0^{n-1} y_\nu \cos 2\nu h \\ a_3 &= \frac{2}{n}(y_0 \cos 0 + y_1 \cos 3h + y_2 \cos 6h + \cdots + y_{n-1} \cos 3[n-1]h) \\ &= \frac{2}{n}\sum_0^{n-1} y_\nu \cos 3\nu h \text{ usw.} \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

und ebenso

$$\left.\begin{aligned} b_1 &= \frac{2}{n}\sum_0^{n-1} y_\nu \sin \nu h \\ b_2 &= \frac{2}{n}\sum_0^{n-1} y_\nu \sin 2\nu h \end{aligned}\right\} \text{ usw. . . . . } (4)$$

Durch Einsetzen der so gewonnenen Koeffizienten a_0, a_1, b_1 usw. in die Gleichung (1) ist die gegebene Kurve in harmonische Sinus- und Cosinuskurven zerlegt, deren Amplituden durch die Koeffizienten a_0, a_1 usw. bestimmt sind.

Um die gegebene Kurve in bloße Sinuskurven zu zerlegen, setzt man

$$\left.\begin{aligned} \sqrt{a_1^2 + b_1^2} &= c_1;\ \frac{a_1}{b_1} = tang\, q_1 \left(\text{oder } q_1 = arc\,tang \frac{a_1}{b_1}\right) \\ \sqrt{a_2^2 + b_2^2} &= c_2;\ \frac{b_2}{b_2} = tang\, q_2 \text{ usf.} \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

dann gehen die Gleichungen (1) über in

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + c_1 \sin(x + q_1) + c_2 \sin(2x + q_2) + \cdots$$

hierin bezeichnen c_1, c_2 usw. die Amplituden der Partialtöne des Klanges und q_1, q_2 usw. die Phasenverschiebung derselben gegen den Nullpunkt der Kurve, bzw. den Anfangspunkt der gemessenen Periode.

Die praktische Ausführung der in den Gleichungen (3) und (4) ausgedrückten Rechnungen würde nun bis zur Undurchführbarkeit langwierig werden, wenn man nicht Erleichterungen einführt. Ist z. B. $n = 40$, also $h = 9^0$, so wäre:

$$a_1 = \frac{1}{20}(y_0 \cos 0^0 + y_1 \cos 9^0 + y_2 \cos 18^0 + \cdots + y_{39} \cos 351^0)$$

$$b_1 = \frac{1}{20}(y_0 \sin 0^0 + y_1 \sin 9^0 + y_2 \sin 18^0 + \cdots + y_{39} \sin 351^0)$$

$$a_2 = \frac{1}{20}(y_0 \cos 0^0 + y_1 \cos 18^0 + y_2 \cos 36^0 + \cdots + y_{39} \cos 702^0)$$

$$a_3 = \frac{1}{20}(y_0 \cos 0^0 + y_1 \cos 27^0 + y_2 \cos 54^0 + \cdots + y_{39} \cos 1053^0) \text{ usw.}$$

Es erfordert also jedes a und jedes b eigentlich 40 Multiplikationen, deren positive und negative Werte algebraisch zu summieren sind. Berechnet man nur die ersten 20 Partialtöne, so ergibt dies 1600 Multiplikationen usw.

Es ist nun aber leicht einzusehen, daß wenn n eine zu 360 kommensurable Zahl ist, sich die Cosinus- und Sinuswerte stets wiederholen, da z. B. $cos\ 702^0 = cos\ 342^0$ ist, ferner $cos\ 18^0$, $cos\ 27^0$, $cos\ 36^0$ usw. nicht bloß in a_2 und a_3, sondern schon in a_1 vorkommen. Aber die Wiederholung findet bei geeigneten Werten von n schon innerhalb des Umganges im Kreise fortwährend statt, indem

$$cos\,h = -cos\,(\pi - h) = -cos\,(\pi + h) = cos\,(2\,\pi - h)$$
$$= sin\left(\frac{\pi}{2} - h\right) = sin\left(\frac{\pi}{2} + h\right) = -sin\left(\frac{3\,\pi}{2} - h\right) = -sin\left(\frac{3\,\pi}{2} + h\right).$$

Alle diese Winkel kommen aber in der Rechnung vor, sobald h ein einfacher Bruchteil von 90^0, z. B. wie in unserem Falle $= 9^0$ ist; es unterscheiden sich also die in den Rechnungen stets wiederkehrenden Werte von $cos\ 9^0$, $cos\ 171^0$, $cos\ 189^0$, $cos\ 351^0$, $sin\ 81^0$, $sin\ 99^0$, $sin\ 261^0$ und $sin\ 279^0$ nur durch Vorzeichen, und es kommen außer 0 und 1 überhaupt nur 9 trigonometrische Werte in allen Rechnungen vor, wenn man sich auf 40 Ordinaten beschränkt.

Die Aufgabe reduziert sich also darauf, die 40 Ordinatenwerte in richtiger Kombination und mit dem richtigen Vorzeichen mit den 11 trigonometrischen Werten (inkl. 1 und 0) durchzumultiplizieren. In allen Rechnungen zusammen können also überhaupt nur 440 Produkte vorkommen, von denen je 40 von verschiedenem Vorzeichen in jeden Einzelwert eines a_r oder b_r eingehen. Von jenen 440 Produkten sind 40 gleich den gemessenen Ordinaten selbst, $40 = 0$, also nur 360 auszurechnen.

Ordnet man nun die 440 Produkte in einer Tabelle von beistehendem Schema:

0^0	9^0	18^0	27^0	36^0	45^0	54^0	63^0	72^0	81^0	90^0
1	0,99	0,95	0,89	0,81	0,71	0,59	0,45	0,31	0,16	0
y_0	$0{,}99\,y_0$	$0{,}95\,y_0$	$0{,}89\,y_0$	$0{,}81\,y_0$	$0{,}71\,y_0$	$0{,}59\,y_0$	$0{,}45\,y_0$	$0{,}31\,y_0$	$0{,}16\,y_0$	0
y_1	$0{,}99\,y_1$	$0{,}95\,y_1$	$0{,}89\,y_1$	$0{,}81\,y_1$	$0{,}71\,y_1$	$0{,}59\,y_1$	$0{,}45\,y_1$	$0{,}31\,y_1$	$0{,}16\,y_1$	0
y_2	$0{,}99\,y_2$	$0{,}95\,y_2$	$0{,}89\,y_2$	$0{,}81\,y_2$	$0{,}71\,y_2$	$0{,}59\,y_2$	$0{,}45\,y_2$	$0{,}31\,y_2$	$0{,}16\,y_2$	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
y_{39}	$0{,}99\,y_{39}$	$0{,}95\,y_{39}$	$0{,}89\,y_{39}$	$0{,}81\,y_{39}$	$0{,}71\,y_{39}$	$0{,}59\,y_{39}$	$0{,}45\,y_{39}$	$0{,}31\,y_{39}$	$0{,}16\,y_{39}$	0

worin die oberen Zahlen die Cosinus der entsprechenden Winkel sind und die in der Tabelle verzeichneten Multiplikationen als ausgeführt anzusehen sind, so lassen sich die Summanden für jeden Partialton leicht herausziehen.

Für a_0 (welches übrigens praktisch außer für Proben nicht in Betracht kommt) wäre die erste Vertikalreihe zu addieren.

Für a_1 ist die erste Diagonalreihe zu nehmen, also y_0, $0{,}99\,y_1$, $0{,}95\,y_2$ usw. Ist man am rechten Rande der Tabelle angelangt, so geht man wieder diagonal zurück, d. h. es folgt auf 0 $0{,}16\,y_{11}$, $0{,}31\,y_{12}$ usf.; jedoch wechselt bei jeder Umkehr am rechten Rande der Tabelle das Vorzeichen. Ist man am linken Rande diagonal wieder angelangt (bis y_{20}), so folgt nun weiter ohne Änderung des Vorzeichens, d. h. weiter negativ, $0{,}99\,y_{21}$, $0{,}95\,y_{22}$ usf. Am rechten Rande wechselt wieder das Vorzeichen, so daß der letzte der 40 Summanden lautet $+\,0{,}99\,y_{39}$.

Für b_1 ist ganz ebenso zu verfahren, nur ist oben rechts anzufangen und wiederum am rechten Rande jedesmal das Vorzeichen zu wechseln, niemals am linken. Es sind also die Summanden für 0_1: 0, $0{,}16\,y_1$, $0{,}31\,y_2$, $0{,}45\,y_3 \ldots y_{10}$, $0{,}99\,y_{11}$, $0{,}95\,y_{12} \ldots 0{,}16\,y_{20}$, 0, $-\,0{,}16\,y_{22}$, $-\,0{,}31\,y_{23}$ usw.

Für a_2 wird wieder links oben begonnen, aber jedesmal in der folgenden Reihe eine Stelle übersprungen, d. h. ein sog. Springerzug gemacht, so daß die ersten Summanden lauten: y_0, $0{,}95\,y_1$, $0{,}81\,y_2$, $0{,}95\,y_3$, $0{,}31\,y_4$, 0, $-\,0{,}31\,y_6$, $-\,0{,}59\,y_7$ usw.

Für b_2 wird in gleicher Weise verfahren, nur von rechts oben begonnen; es folgen also 0, $0{,}31\,y_1$, $0{,}59\,y_2$ usw.

Auch hier wechselt das Vorzeichen, sowohl für a_2 wie für b_2 stets am rechten Rande.

Für a_3 und b_3 sind in jeder folgenden Reihe zwei Felder zu überspringen; also für a_3 folgen y_0, $0{,}89\,y_1$, $0{,}59\,y_2$, $0{,}16\,y_3$, $-\,0{,}31\,y_4$, $-\,0{,}71\,y_5$ usf.; für b_3 0, $0{,}45\,y_1$, $0{,}81\,y_2$, $0{,}99\,y_3$, $0{,}95\,y_4$, $0{,}71\,y_5$ usf. Stets wechselt das Vorzeichen am rechten Rande.

Eine große Erleichterung hat Hermann dadurch erreicht, daß er für jede Partialzahl Schablonen anfertigen ließ, welche mit einem Blicke alle auszuziehenden Produkte samt ihren Vorzeichen hervortreten ließen. Er nahm dazu Zentimeterpapier, in dessen Felder er seine Produktentabelle eintrug. Die Schablonen wurden aus gleichem Papier gefertigt, wobei diejenigen Quadrate ausgeschnitten wurden, welche den Summanden des betreffenden Partialtons entsprachen. Für jedes a wurde eine solche Schablone angefertigt. Legte man nun die Schablone, die z. B. für a_4 angefertigt war, auf die Tabelle auf, so erschienen in den Fenstern der Schablone nur die Produkte, welche für a_4 zu summieren waren. Über jedem Fenster stand das Vorzeichen, welches zu nehmen war. Kehrte man die Schablone für a_4 um und legte sie nun wieder auf die Tabelle, so diente sie gleich für b_4. Man braucht demnach für die b-Werte keine besonderen Schablonen. Durch diese Anordnung von Hermann wird die sonst außerordentlich mühselige Arbeit der Kurvenberechnung so erleichtert, daß man nur die 40 Ordinaten auszumessen und 360 Produkte auszurechnen hat; alles übrige vollzieht sich durch die Schablonen „mit spielender Leichtigkeit“. Dazu kommt noch, daß, wenn man eine Anzahl Analysen ausgeführt hat,

selten neue Modifikationen zu machen sind, „da fast jeder y-Wert samt seinen neun Produkten schon früher vorgekommen sein wird, letztere also ohne weiteres in die Faktorentabelle übertragen werden können". Eine vollständige Analyse läßt sich nach Hermann bei dem angegebenen Verfahren in zwei bis drei Stunden durchführen.

Über die mathematischen Analysen von Kurvenformen gibt übrigens auch das schon erwähnte kleine Büchlein von Orlich, welches in diesem Verlage erschienen ist, ausführliche Auskunft. Besonders hinzuweisen ist auf die dort eingehend besprochenen harmonischen Analysatoren, speziell den von Michelson und Stratton, der nicht nur die zu einer gegebenen Kurve gehörenden Koeffizienten einer Fourierschen Reihe findet, sondern auch die Kurven zu einer gegebenen Fourierschen Reihe zeichnen kann.

Trotz der sehr großen Erleichterungen, die Hermann mit großem Scharfsinn bei der Berechnung der Kurven eingeführt hat, erfordert die Analyse doch immerhin noch eine sehr große Arbeit, und Hermann hat daher, besonders in Rücksicht auf seine noch zu besprechende Theorie eine andere Methode angegeben, die er als die Schwerpunktsmethode bezeichnet. Da die Fouriersche Analyse natürlich nur harmonische Obertöne ergibt, so würde ein eventuell vorhandener nicht harmonischer Oberton des Stimmtones aus der Kurve überhaupt nicht mittels der Fourierschen Reihen berechnet werden können. Man kann aber annehmen, daß ein nicht notwendig harmonischer Ton auf die Obertöne des Stimmklanges so einwirkt, daß er die ihm nächstliegenden Obertöne am meisten verstärkt. Nimmt man dies an, so würde sich die Lage des betreffenden Tones annähernd in folgender Weise bestimmen lassen: „Wir denken uns die Reihe der Obertöne als äquidistante Punkte auf einer geraden Linie, verlegen in jeden dieser Punkte eine Masse, deren Größe der Amplitude des betreffenden Partialtones entspricht, und suchen den gemeinsamen Schwerpunkt dieser Massen. Dies geschieht einfach dadurch, daß wir jede Amplitude mit ihrer Ordnungszahl multiplizieren und die Summe dieser Produkte durch die Summe der Amplituden selbst dividieren." Hermann gibt als Beispiel für die Note G:

$$\frac{6{,}12 + 7{,}37 + 8{,}42 + 9{,}11 + 10{,}12}{12 + 37 + 42 + 11 + 10} = 7{,}67,$$

d. h. der charakteristische Ton wird am wahrscheinlichsten die 7,67 fache Schwingungszahl des Grundtones *G* (98 Schwingungen) haben: $7{,}67 \times 98 = 752$. Die sich so ergebende Schwingungszahl 752 würde einem Ton entsprechen, der ein wenig über *fis'* (746 Schwingungen) liegt.

Eine vollkommen durchgeführte Ordinatenmessung und Berechnung für den Vokal *a* gibt Hermann an, die ich hier wiedergeben will.

Tabelle I: Fouriersche Analyse.

	Ordnungszahl:									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Note *G* .						0,12 d^2	0,37 $< f^2$	**0,42** g^2	0,11 a^2	0,12 h^2
„ *A* .					0,13 cis^2	0,30 e^2	**0,33** $< g^2$	0,10 a^2	0,09 h^2	0,08 cis^3
„ *H* .	0,05 H		0,09 fis^1	0,22 h^1	0,37 dis^2	**0,45** fis^2	0,10 $< a^2$	0,15 h^2		
„ *c* .	0,11 c			0,19 c^2	**0,54** e^2	0,38 g^2	0,16 $< ais^2$	0,09 c^3	0,10 d^3	
„ *d* .				0,29 d^2	**0,52** fis^2	0,08 a^2	0,18 $< c^3$		0,06 e^3	
„ *e* .			0,13 h^1	**0,55** e^2	0,28 gis^2	0,24 h^2	0,07 $< d^3$			
„ *fis*			0,30 cis^2	**0,61** fis^2	0,07 ais^2	0,11 cis^3	0,11 $< e^3$			
„ *g* .	0,11 g		0,39 d^2	**0,55** g^2	0,21 h^2	0,11 d^3	0,08 $< f^3$			
„ *a* .			**0,71** e^2	0,18 a^2	0,18 cis^3	0,09 e^3				
„ *h* .			**0,74** fis^2	0,17 h^2	0,13 dis^3					
„ c^1 .		0,41 c^2	**0,54** g^2	0,40 c^3	0,11 e^3					
„ d^1 .		**0,71** d^2	0,31 a^2	0,26 d^3						

In Tabelle I ist Amplitude und Note des stärksten Partialtones überall mit fetter, die des zweitstärksten mit gewöhnlicher Schrift wiedergegeben, wobei ohne weiteres ersichtlich ist, daß der prävalierende Partialton durchweg zwischen e'' und g'' liegt.

Die nun angewendete Schwerpunktsmethode Hermanns ergibt die Zahlen der Tabelle II. Hermann folgert aus seiner Berechnung: der Vokal *a* ist charakterisiert durch einen Mundton, welcher zwischen e'' und gis'' liegt.

Tabelle II: Schwerpunktsmethode.

Note	Charakteristischer Ton		
	Ordnungszahl	Schwingungszahl	Note
G 98	7,67	752	$> fis^2$ (740)
A 110	6,96	766	$> fis^2$ (740)
H 123,5	5,35	661	$> e^2$ (659,3)
c 130,8	5,47	715	$> f^2$ (698,5)
d 146,8	5,34	784	g^2
e 164,8	4,66	768	$< g^2$ (784)
fis 185	4,27	790	$> g^2$ (784)
g 196	3,97	778	$< g^2$ (784)
a 220	3,70	814	$< gis^2$ (830,6)
h 246,9	3,41	842	$> gis^2$ (830,6)
c^1 261,7	3,14	822	$< gis^2$ (830,6)
d^1 293,7	2,65	778	$< g^2$ (784)

Gemäß seiner Theorie kommt es Hermann vorwiegend darauf an, den charakteristischen Ton, zu dessen Ermittelung die Rechnung ja schließlich führt, in möglichst direkter Weise auch ohne vollständige Analyse aus der Kurve zu entnehmen. Dazu gibt er eine sehr einfache Methode der Proportionalausmessung. Er mißt die Länge zweier sukzessiver Perioden und zwar so, daß die zu messende Gruppe kleiner Schwingungen, auf die es gerade ankommt, in der Mitte der gemessenen Länge liegt. Darauf wird von den kleinen Schwingungen ebenfalls die Länge einer Doppelperiode gemessen und zwar in der Höhe der Achse. Die gesuchte Schwingungszahl der kleinen Schwingung wird durch die Formel $x = \frac{L}{l} n$ gegeben, wobei n die Schwingungszahl der

Stimmnote, L die Länge einer Doppelperiode und l die Länge einer doppelten kleinen Schwingung ist. Die Proportionalausmessung läßt sich entweder unter dem Mikroskop mit Trieb und Fadenkreuz oder auch noch schneller mittels eines sehr feinen Anlegemaßstabes ausführen. Das Beispiel, das Hermann für den Vokal *a* gibt, zeigt die deutliche Übereinstimmung der verschiedenen Berechnungsmethoden. Man vergleiche Tabelle III.

Tabelle III: Methode der Proportionalausmessung.

Note	L mm	l mm	Charakteristischer Ton	
			Schwingungszahl	Note
G 98	18,5	2,4	756	$> fis^2$ (740)
A 110	16,3	2,5	717	$> f^2$ (698,5)
H 123,5	14,9	2,6	708	$> f^2$ (698,5)
c 130,8	13,6	2,55	698	f^2
d 146,8	11,6	2,4	710	$> f^2$ (698,5)
e 164,8	10,9	2,3	781	$< g^2$ (784)
fis 185	9,8	2,5	725	$< fis^2$ (740)
g 196	9,1	2,5	714	$> f^2$ (698,5)
a 220	8,2	2,5	714	$> f^2$ (698,5)
h 246,9	7,3	2,6	693	$< f^2$ (698,5)
c^1 261,7	6,8	?	?	?
d^1 293,7	6,2	?	?	?

Noch einfacher kann die Ausmessung bei den Kurven der Vokale *i* und *e* geschehen; wenn die kleinen Schwingungen mit konstanter Länge, aber wechselnder Höhe durch die ganze Periode hindurchgehen, genügt es, sie einfach auszuzählen (Auszählungsmethode). Wenn die Kurve des Vokales *e*, der auf die Note H gesungen wurde, 16 kleine, gleich lange Schwingungen zeigt, so ist der entsprechende Ton der 16. Partialton von H, d. h. h'''.

Zur schnellen Feststellung der betreffenden Obertöne empfiehlt Hermann die Anlegung einer Obertontabelle für sämtliche Töne. Noch einfacher wäre es, die bekannte Machsche Klaviatur mit verschieblichem Obertonstabe zu benutzen. (Müller-Pouillet, Lehrb. d. Physik, 9. Aufl., Bd. 1, p. 839) Nur müßte wegen der hoch-

liegenden Obertöne der verschiebliche Maßstab weiter hinausreichen. Bei den Kurven des Vokales *i* liegen die kleinen Oszillationen so eng aneinander, daß bei einer Ausmessung durch Fouriersche Analyse wenigstens 80 bis 100 Ordinaten erfordert würden. Hier kommt man durch die Anwendung des Auszählungs- wie des Proportionalmessungsverfahrens leicht zu guten Resultaten.

Es mag noch kurz bemerkt sein, daß Pipping für die Benutzung der Schwerpunktsmethode nicht die einfachen Schwingungszahlen, sondern deren Logarithmen benutzt, da er annimmt, daß z. B. ein Resonanzton c' auf seine Unteroktave c eine weniger starke Wirkung ausübt als auf den nur um eine Quint von ihm entfernten Ton g', obgleich die Differenz der Schwingungszahlen nach beiden Richtungen hin dieselbe ist. Deshalb benutzt er für die Schwerpunktskonstruktion folgende Formel:

$$\frac{a_1 \log s_n + a_2 \log s_n + a_3 \log s_n + \cdots + a_n \log s_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots + a_n} = \log S$$

wobei a_n = Amplitude des $n$ten Partialtones; s_n = Schwingungszahl desselben und S = Schwingungszahl des als Schwerpunkt zu bezeichnenden Tones ist.

Die Proportionalmessung hält Pipping für durchaus verfehlt. Samojloff bemerkt aber zu diesem Urteil: „Ich sehe keinen Grund für ein derartiges Urteil. Man kann bloß mit Hilfe der Proportionalmessung aus einer Vokalkurve, wenn nur die Höhe des Grundtones bekannt ist, ohne weiteres den Vokal bestimmen; andererseits kann man, wenn der Vokal bekannt ist, durch die Proportionalmessung die Höhe desselben bis auf einen Ton bestimmen. Wenn eine einfache Methode derartiges leistet, so kann man sie doch gewiß nicht als verfehlt bezeichnen; im Gegenteil, man muß ihr eine prinzipielle Bedeutung zuschreiben; und wenn man mit Hilfe dieser Methode unharmonische Ordnungszahlen bekommt, mit denen man dann rechnerisch operiert und zu brauchbaren Resultaten gelangt, so spricht es eher für die Existenz unharmonischer charakteristischer Töne als für die Unbrauchbarkeit der Proportionalmessung."

e) Resultate der Klanganalyse.

Hermann gibt als allgemeinsten Charakter der Vokalkurven an, daß dieselben einen charakteristischen Oberton periodisch oder

in periodischer Verstärkung enthalten, und daß die Periode diejenige des Stimmtones ist. Kürzer drückt er es so aus: Der Charakter der Vokale besteht in einem im Tempo des Kehltones in seiner Amplitude oszillierenden Mundton. Das bei dem Vokal *a* von ihm erhaltene Resultat war, wie aus den Tabellen hervorgeht, ein Mundton, der zwischen *e''* und *gis''* liegt. Für den Vokal *e* bestimmte er die Höhe des Mundtones auf *h'''* bis *c''''*, für den Vokal *i* auf *d''''* bis *g''''*, für den Vokal *o* auf *d''* bis *e''* und für *u* auf *c''* bis *d''*. Daß die Amplitudenoszillation am stärksten bei *a* sich zeigt, am geringsten bei *i* und *u*, erklärt sich übrigens auch aus den Reproduktionsverhältnissen des Edisonschen Phonographen, bei dem gerade *i* und *u* am schlechtesten wiedergegeben werden, weil die charakteristische Mundresonanz durch die Artikulationsöffnungen am freien Austritt gehemmt wird.

Auffallend war Hermann wie allen folgenden Untersuchern, daß der Grundton der Vokale, den man doch mit dem Ohre weitaus am stärksten wahrnimmt, in den Kurven so schlecht ausgeprägt ist. Die Ursachen für diese Erscheinung hat Pipping (s. u.) zu geben versucht.

Die Resultate von Boeke weichen zum Teil nicht unerheblich von denen Hermanns ab. So findet er bei dem gesprochenen *a*-Laut als charakteristischen Ton die Note *c'''* bis *cis'''* (1037 bis 1080 Schwingungen). Interessant ist der Versuch von Boeke, einige Fouriersche Analysen mit Benutzung der Hermannschen Schablonen an Kurven anzustellen, deren Bestandteile genau bekannt waren, um auf solche Weise über die durch die Analyse überhaupt zu erreichende Genauigkeit ein sicheres Urteil zu gewinnen. Dabei ergab sich, daß ein harmonischer Partialton mit größerer Intensität als der Hauptton durch die Analyse mit genügender Schärfe hervortritt, daß auch ein unharmonischer Partialton mit größerer Intensität als der Hauptton durch die Analyse annähernd zu bestimmen war, und daß ein harmonischer Partialton mit einer in der Periode des Haupttones wechselnden Intensität durch die Analyse annähernd zu bestimmen ist.

Pipping kommt in seiner ersten Arbeit zu folgenden Resultaten: 1. Gesungene Vokalklänge enthalten lauter harmonische Teiltöne. 2. Die Intensitäten der einzelnen Teiltöne hängen in keinem nennenswerten Grade von ihren bezüglichen Ordnungs-

zahlen ab. 3. Die verschiedenen Vokale unterscheiden sich untereinander durch Verstärkungsgebiete in verschiedener Anzahl, Breite und Lage in der Tonskala. Je näher der Maximalpunkt eines solchen Gebietes, desto stärker sind die Teiltöne, je weiter vom Maximalpunkt entfernt, desto schwächer sind sie. Die Intensität eines solchen Teiltones, der zwei Verstärkungsgebieten angehört, erreicht selten 1 Proz. der ganzen Klangmasse, kann jedoch unter Umständen bis zu 5 Proz. heraufsteigen. 4. In verschiedenen Fällen hat Pipping bei verschiedenen Individuen desselben Dialekts so gut wie identische Aussprache eines Vokales konstatieren können.

In betreff der merkwürdigen Erscheinung, daß der Grundton am schwächsten, ja zum Teil gar nicht in den Klangkurven sich geltend macht, glaubt Pipping folgendes aussprechen zu dürfen. Ein Klang von der Schwingungszahl n wird entstehen, sowie eine hinreichende Anzahl von Teiltönen vorhanden ist, deren Schwingungszahlen gerade Vielfache von n sind. Kein Teilton genügt an und für sich, um eine sichere Höhenempfindung hervorzurufen, und keiner, auch nicht der Grundton, ist zu diesem Zwecke unentbehrlich. Als Beweis dafür führt Pipping folgendes an: 1. Die Obertöne tragen zur sicheren Wahrnehmung der Klanghöhe bei. Als Beispiel weist er auf die Mixturregister der Orgel hin. 2. Die Höhe eines einfachen Tones wird von unserem Ohr nur sehr unsicher geschätzt, worauf schon Helmholtz in seinen „Tonempfindungen“ hinweist: Henrici gab die Obertöne einer Stimmgabel um eine Oktave zu tief an, Tartini die Differenztöne um eine Oktave zu hoch. 3. Der Grundton ist für die Hervorbringung einer sicheren Klanghöhenwahrnehmung entbehrlich. Dazu stellt Pipping einen Versuch an, der eine interessante Erweiterung des bekannten Helmholtzschen Klavierversuches darstellt (s o.). Er wiederholt den Versuch, befreit aber nur die Saiten vom zweiten Teilton an von ihren Dämpfern, läßt dagegen alle die Saiten, welche durch den Grundton des hineintönenden Klanges in Mitschwingungen versetzt werden könnten, gedämpft. Es müßte also in dem Klange, welcher aus dem Klavier wiedertönt, der Grundton fehlen; trotzdem bleibt die Höhe des Klanges bei dem Versuche intakt.

Hermann erklärt das geringe Vorhandensein bzw. Fehlen des Grundtones in der Kurvenanalyse so, daß er annimmt, daß

jede beliebige periodische Bewegung von unserem Ohr als ein Ton aufgefaßt werde. Natürlich ist er sich dessen sehr wohl bewußt, daß diese Auffassung mit der Helmholtzschen Hypothese, daß die Tonempfindung auf den Mitschwingungen von Resonatoren im Ohre und der dadurch hervorgerufenen Erregung der zugehörigen Einzelfaser der Hörnerven beruht, unvereinbar erscheint.

Samojloff bekommt für den Vokal *a*, auf 16 verschiedene Töne gesungen, einen charakteristischen Ton in der Höhe von g'' und a'', wobei er eine geringe Steigerung der Schwingungszahl mit der Erhöhung der Note bemerkt. Diese Tatsache war übrigens auch Hermann bereits aufgefallen, der sie zunächst als Zufall ansah; ebenso konnte Boeke dies konstatieren, der, wie wir unten sehen werden, gerade dieser Tatsache entsprechend die Hermannsche Vokaltheorie modifizierte. Die charakteristische Höhe für den Vokal *o* liegt nach Samojloff bei c'' bis d'', wenn er einfach auszählte; bei der Proportionalmessung fand er die charakteristische Höhe des *o* zwischen den Noten h' und des''. Bei dem Vokal *u* analysierte er die Kurve durch das Fouriersche Theorem, wobei er, wie alle übrigen Autoren, feststellte, daß der Vokal *u* zwei charakteristische Töne besitzt, einen tieferen und einen höheren. Die Grenze des tieferen Gebietes fand er auf c' bis g', die des höheren Gebietes in c'' bis e''. Der charakteristische Ton für *e* befand sich zwischen h''' und des'''', der für den Vokal *i* zwischen d'''' und e''''. Die folgende Tabelle

Vokal	Pipping	Boeke	Hermann		Samojloff
U	c, a^2	$< d^2$	$c'—f'$, $d^2—e^2$	(α-Vers. $c^2—e^2$)	$c'—g'$, $e^2—e^2$
O	—	$< c^2$	$c^2—dis^2$	(α-Vers. $cis^2—e^2$)	$h'—des''$
Ao	c^2	—	$e^2—f^2$	—	—
A	$cis^3—d^3$	$c^3—cis^3$	$e^2—gis^2$	(α-Vers. $e^2—gis^2$)	$g^2—a^2$
Ae	$e^3—f^3$	—	$c^2—e^2$, $fis^3—ais^3$	—	—
E	e^1, d^4	$< fis^4$	$d^2—e^2$, $ais^3—h^3$	(α-Vers. h^3-c^4)	$(h'—d^2)$ $h^3—des^4$
Oe	a', c^3	—	$f^3—g^3$	—	—
Ue	f', c^4	—	$a^3—h^3$	—	—
I	$a'—f'$, $c^4—d^4$	$> d^4$	$e^4—f^4$	(α-Vers. $d^4—g^4$)	$(c'—g'$, c^2- $e^2)$, $d^4—e^4$

Hermanns Tafel für lange und kurze Vokale.

	Langer Vokal	Kurzer Vokal
A . . .	Mitte der 2. Oktave (f^2—a^2)	c^2—es^2
E . . .	Anfang der 2. und Ende der 3. Oktave	Anfang der 2. und Mitte der 3. Oktave
I . . .	Mitte der 4. Oktave	ais^3
O . . .	Anfang der 2. Oktave	b'—cis^2
Ao . . .	Anfang der 2. Oktave (etwas höher)	
U . . .	Anfang der 1. u. d. 2. Oktave	c^2?
Ae . . .	Anfang der 2. und Mitte der 3. Oktave	Anfang der 2. und Mitte der 3. Oktave
Oe . . .	Mitte der 3. Oktave (etwas tiefer als *Ae*)	e^3—fis^3
Ue . . .	Ende der 3. Oktave	fis^3—gis^3

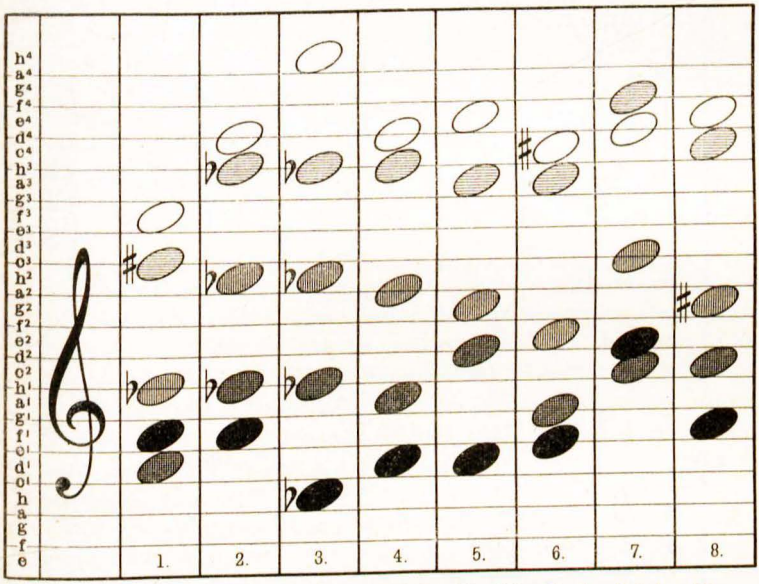
stellt die von Pipping, Boeke, Hermann und Samojloff gewonnenen Resultate übersichtlich zusammen. Die Fig. 72 ermöglicht eine schnelle Vergleichung dieser und früherer durch Flüstern gewonnener Resultate. Wie man daraus ersieht, ist eine Übereinstimmung durchaus nicht überall vorhanden. Es darf aber nicht außer acht gelassen werden, daß dialektische Verschiedenheiten einen außerordentlichen Einfluß üben können. Natürlich wäre es eine nicht unwesentliche Aufgabe, wenn ein und derselbe Forscher den gleichen Vokal auf der gleichen Tonhöhe einmal bei Personen mit recht verschiedenem Dialekt untersuchte; mir scheint aber, daß ein fein gebildetes Ohr auch ohne mathematische Analyse die individuell sehr differierenden charakteristischen Mundtöne zu unterscheiden imstande ist. (Samojloff, S. 21.)

Aus den Fourierschen Analysen mittels Hermannscher Schablonen findet Boeke:

1. daß ein harmonischer Partialton mit größerer Intensität als der Hauptton hervortritt;
2. daß ein unharmonischer Partialton mit größerer Intensität als der Hauptton annähernd zu bestimmen ist, und
3. daß ein harmonischer Partialton mit einer in der Periode des Haupttones wechselnden Intensität annähernd zu bestimmen ist.

Boeke erweitert die Hermannsche Definition eines Vokales folgendermaßen: Ein Vokal wird hervorgebracht von dem Anschwellen und allmählich wieder Verschwinden eines ziemlich konstanten Mundtones innerhalb der Periode des Stimmtones mittels der periodischen Anblasungen der Stimme. Im allgemeinen steigt beim Vokal *a* dieser Mundton etwas mit dem Aufsteigen des Stimmtones.

Fig. 72.



Die schwarzen Noten geben die charakteristischen Mundtöne für den Vokal *u*, die längs und quer gestrichelten die für den Vokal *o*, die senkrecht liniierten die für den Vokal *a*, die horizontal liniierten die für den Vokal *e* und die weißen die für den Vokal *i* nach Donders (1), Helmholtz (2), König (3), Gutzmann (4) durch Flüstern, nach Hermann (5), Pipping (6), Boeke (7), Samojloff (8) durch Analyse bestimmt. Der Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit wegen ist für die Figur nur immer ein Ton der durch Analyse bestimmten Verstärkungsgebiete angegeben.

Sehr bemerkenswert ist als Erklärung für die Differenzen der Autoren, daß die charakteristischen Töne bei einem und demselben Vokal der gleichen Silbe schwanken, je nachdem man diese Periode aus dem Anfang, der Mitte oder dem Ende der gesprochenen Silbe untersucht. So fand Verschuur für den Vokal *O* die beiden charakteristischen Töne:

Vokale	ă	ā	ăe	ŏ	ĕ	ŭ	ū	ŏ	ī	ĭ
Booke	*fis*² + *dis*³ — —	*gis*² + *dis*³ + —	— — —	— — —	*dis*² + *cis*⁴ —	— — —	*e*′ *g*³ *cis*⁴	— — —	*e*² *gis*³ *dis*⁴ —	— — —
Pipping	*f*² — *fis*² *d*³ — *dis*³ — —	*dis*² — *g*² *dis*³ — —	*d*² — *e*² *fis*³ + — *g*³ — —	*ais*¹ — *c*² *a*² — *c*³ — —	*ais*¹ + *a*³ — *b*³ — —	*gis*³ — *a*³ — — —	*d*′ *a*³ — *ais*³ — — —	*b*′ — *c*² *g*³ — *gis*³ — —	*gis* *g*³ — *gis*³ *d*′ *ais*³ — *c*⁴	— — — —
Hermann	*c*² — *es*² — —	*f*² — *a*² — —	Beg. d. 2. Okt. Mitte d. 3. Okt. —	*b*′ — *cis*² — —	Beg. d. 2. Okt. Mitte d. 3. Okt. —	*fis*³ — *gis*³ — —	— Ende d. 3. Okt. —	— *e*³ — *fis*³ —	— — Mitte d. 4 Okt.	— *ais*³ —
Verschuur	[ă⁰] *gis*² + *dis*³ — *f*³ — — —	[ā⁰] *f*² — *fis*² + *cis*³ — *dis*³ + — — —	— *dis*² — *fis*² *ais*³ + — *b*³ + *) — — —	— *fis*² + — *a*² + *gis*³ — *a*³ — — — —	[ĕ⁰] *d*² — — *dis*² + **) *e*³ + — *g*³ — — — —	— *gis*³ — *b*³ + — — — —	— — *ais*³ — *c*⁴ — — —	[ŭ] *a*′ — *cis*² *fis*³ — *gis*³ — [ū] *cis*² — *e*² *e*³ + — *fis*³	— *g*² — *a*² — — *cis*⁴ + — *dis*⁴ — —	— — *f*³ + — *gis*³ + — *cis*⁴ + — *dis*⁴ + —

*) Zu lesen: der charakteristische Ton liegt von etwas oberhalb *ais*³ bis etwas oberhalb *b*³.

**) Zu lesen: der charakteristische Ton liegt von etwas unterhalb *d*² bis etwas oberhalb *dis*².

im	ersten	Teil	der	Silbe	bei	$gis'—a'$	bzw. $gis^2—a^2$
„	mittleren	„	„	„	„	c^2	„ $b^2—c^3$
„	letzten	„	„	„	„	$c^2—cis^2$ +	„ cis^3

Es ist auffallend, daß hier der zweite Ton immer fast genau eine Oktave höher liegt als der erste Ton, was an die Anschauung von Lloyd erinnert, nach dem das Hauptcharakteristikum der Vokale in dem Intervall zwischen den Resonanztönen liegt. Den tiefsten Resonanzton betrachtet Pipping als die Resonanz der Brust.

Eine Zusammenstellung der zwei bzw. drei charakteristischen Töne der Vokale nach seinen eigenen Befunden, nach denen Boekes, die dieser ihm schriftlich mitteilte, und nach den bekannten Befunden Pippings und Hermanns gibt Verschuur. Ich stelle sie hier in nebenstehender übersichtlicher Form dar.

f) Theorie der Vokale.

Zwei Theorien stehen sich noch heute scheinbar unversöhnlich und unvereinbar gegenüber, die wir kurz als Obertontheorie und Formantentheorie bezeichnen können. Die Obertontheorie wird zurzeit vorwiegend von Hensen und Pipping, die Formantentheorie von Hermann, Boeke und Samojloff vertreten. Es ist aber bemerkenswert, daß beide Theorien auch schon in der ersten Zeit, als man überhaupt begann, sich mit der Vokaltheorie zu beschäftigen, Vertreter fanden. So ist Wheatstone zweifellos ein Vorläufer von Helmholtz, indem er ebenfalls Stimmgabeln zur Festsetzung des Mundtones benutzte, und Willis zweifellos ein Vorläufer von Hermann.

1. Obertontheorie. Der erste, der die Obertöne als Charakteristikum der Vokale genauer auffaßte und untersuchte, war Grassmann, der sich dazu, wie oben bereits bemerkt, seines ausgezeichneten Gehörs bediente. Er schied die Vokale danach in drei Gruppen oder Reihen; bei der *u-ü-i*-Reihe trat unter den verschiedenen Obertönen stets einer und zwar von bestimmter Höhe heraus, d. h. ein tieferer beim *u* und ein höherer bei dem *i*. Demgegenüber zeigte sich beim Vokal *a* nicht ein Oberton von bestimmter Tonhöhe, sondern eine ganze Reihe von Obertönen bis zur 3. Oktave des Grundtones. Endlich zeigt die Reihe der Zwischenvokale *o-ö-e* beide Momente, sowohl die Eigenschaften

der *u-ü-i*-Reihe, wie diejenigen des *a*, vereinigt. Grassmann hat also bereits in seiner Theorie das „absolute Moment“ wie das „relative Moment“ des Vokaltones, bezieht aber beide auf harmonische Obertöne des Grundtones. Zu einer ähnlichen Theorie ist Auerbach bei seinen verschiedenen Arbeiten gelangt, während Helmholtz zunächst die Vokale der menschlichen Stimme als Klänge membranöser Zungen auffaßte, deren Ansatzrohr verschiedene Form erhalten kann, so daß dadurch bald dieser, bald jener Teilton des Klanges verstärkt wird. Diese Verstärkung der Obertöne hängt nach Helmholtz nicht von der Ordnungszahl derselben, sondern überwiegend von ihrer absoluten Tonhöhe ab. Singt man also den Vokal auf die Note *Es*, so ist der verstärkte Ton *b″* der 12. des Klanges, singt man den gleichen Vokal auf die Note *b′*, so ist es der zweite Ton des Klanges, der verstärkt wird; Helmholtz vertritt demnach das „absolute Moment“ des verstärkten Obertones.

Pipping, ein eifriger Anhänger der Helmholtzschen Vokaltheorie, kennzeichnet seine Stellung zu Helmholtz in folgenden Punkten: 1. Daß unharmonische Teiltöne bei gesungenen Vokalen vorkämen, hält er für unbewiesen. 2. Mit Rücksicht auf das relative Moment bei der Vokalbildung geht er noch weiter als Helmholtz, indem er dessen bekannten Ausspruch: „Die Vokalklänge unterscheiden sich von den Klängen der meisten musikalischen Instrumente also wesentlich dadurch, daß die Stärke ihrer Obertöne nicht nur von der Ordnungszahl derselben, sondern überwiegend von deren absoluter Tonhöhe abhängt“, so umändert, daß er für „Obertöne“ vorzieht, „Teiltöne“ zu sagen, da ja nach den obigen Auseinandersetzungen auch der Grundton kraft seiner Ordnungszahl nicht eine bevorzugte Stellung einnimmt. 3. Pipping behauptet mit Helmholtz, daß jeder Vokal sich durch ein oder mehrere Verstärkungsgebiete konstanter Tonhöhe auszeichnet, und daß die Intensität seines Teiltones ceteris paribus desto größer ist, je genauer er mit dem Maximalpunkte eines solchen Verstärkungsgebietes zusammentrifft. 4. Die Breite der Verstärkungsgebiete nimmt Pipping nicht so groß an wie Helmholtz.

2. Formantentheorie. Die Theorie von Willis geht aus seinem Versuche am gezähnten Rade hervor. An dieses rasch rotierende Rad hielt er eine Stahlfeder, so daß man infolge der

regulären Stöße des Zahnes einen gewissen Ton hörte. Die Feder konnte durch eine Klemmvorrichtung verlängert oder verkürzt werden. Bei langer Feder erhielt er einen *u*-ähnlichen, bei ganz kurzer Feder einen *i*-ähnlichen Klang. Entsprechend der allmählichen Verkürzung folgen sich die Vokale in der Reihe *u o a e i*. Grützner betont, daß nach seinen Erfahrungen dieser Willissche Versuch vortrefflich gelingt, wenn man nicht Stahlfedern, sondern sehr schnell ausschwingende Plättchen von hartem Holz oder Elfenbein verwendet. Nach der Willisschen Theorie ist demnach ein Vokal eine verschieden rasche Wiederholung eines kurzen musikalischen Tones von derselben Höhe. Willis nannte die durch die Zähne des Rades erzeugten Schwingungen die „primären", die kurzdauernden Schwingungen der Feder selbst die „sekundären Pulsationen".

Es mag hier noch kurz erwähnt werden, daß bereits vor Willis der berühmte Physiker Robert Hooke ganz ähnliche Versuche machte. Denn in Birchs History of the Royal Society 1757 heißt es auf S. 96, daß Herr Hooke am 27. Juli 1681 einen Versuch zeigte, musikalische und andere Töne mit Hilfe der Zähne von Messingrädern zu erzeugen, und daß diese Zähne gleich breit waren für musikalische, ungleich breit für die Töne der menschlichen Stimme. Auch in der Lebensgeschichte Hookes von Waller heißt es: „Im Juli desselben Jahres zeigte er eine Methode, musikalische und andere Töne durch das Anschlagen der Zähne von verschiedenen Messingrädern zu erzeugen. Die Zähne derselben standen in einem einfachen Zahlenverhältnis; die Räder drehten sich sehr schnell, und man beobachtete, daß gleiche oder in einfachem Zahlenverhältnis zueinander stehende Schläge der Zähne (2 : 1 oder 4 : 3 usw.) die musikalischen Töne erzeugten, ungleiche Anschläge der Zähne mehr dem Klange der Stimme beim Sprechen nahe kamen." Ich entnehme diesen geschichtlich nicht uninteressanten Hinweis aus Tyndall, Der Schall, 3. Aufl., 1897, S. 61/62.

Hermann läßt sich über seine Theorie folgendermaßen aus. Das Wesentliche des Vokales ist nach seinen Versuchen ein intermittierendes oder oszillierendes Anblasen des Mundtones durch die Stimme. Dies genüge zur Charakteristik des Vokales. Wir haben es nach ihm vermöge der Schwingung der Stimmbänder mit einem intermittierenden Exspi-

rationsstrom zu tun, welcher eben anblasend wirke. „Die Theorie der Resonatoren ist noch nicht genügend entwickelt, um übersehen zu können, unter welchen Umständen intermittierendes oder oszillierendes Anblasen ein kontinuierliches und unter welchen es ein oszillierendes Tönen hervorbringt, und namentlich sind bekanntlich die Eigenschaften starrer und regelmäßig geformter Resonatoren nicht ohne weiteres maßgebend für die komplizierte Form und die weichen, dicken Wände des Mundresonators, der vielleicht viel stärker gedämpft ist.“ — „Tatsache ist, daß der Mundton auf *A* und *O* nur immer auf ganz kurze Zeit in jeder Periode der Stimme erklingt, vermutlich auf das Maximum des exspiratorischen Stromes fallend. Bei tiefen Tönen nimmt dieses Erklingen mit seinen 3 bis 6 Schwingungen zuweilen nur einen ganz kleinen Teil der ganzen Periode in Anspruch; zuweilen füllt es den größeren Teil. Bei höheren Stimmnoten reduziert sich die Klingzeit mit abnehmender Periodendauer immer mehr, bis schließlich kaum zwei Schwingungen übrig bleiben. Man sollte meinen, daß, sobald nur eine einzige Schwingung in der Periode Platz hat, der Vokalcharakter des *A* und *O* nicht mehr erkennbar sein wird.“ Es kommt demnach bei dieser Auffassung gar nicht darauf an, ob die Periode des Stimmtones einen genauen Bruchteil der großen Periode ausmacht oder nicht, mit anderen Worten, ob der Kehlton zum Mundton harmonisch ist. Diesen Mundhöhlenton des durch die Luftstöße der Stimme angeblasenen Resonanzraumes nennt Hermann den „**Formanten des Vokales**“.

Hermann stützt sich für seine Theorie unter anderem auch auf einen praktischen Versuch am Phonographen. Man hat es in der Hand, durch schnelleres Abdrehen des Zylinders nicht allein den Rhythmus, sondern auch die Tonlage zu erhöhen. Ähnliche Versuche wurden bereits von Jenkin und Ewing, Grützner, Graham Bell, Lahr und anderen gemacht. Grützner sagt darüber: „Ist das relative Moment von nennenswerter Bedeutung, so darf sich hierbei der Vokalklang nicht ändern: es wird ja alles nur höher oder tiefer transponiert, die relativen Verhältnisse in dem Klangbild ändern sich nicht. Ist dagegen das absolute Moment entscheidend, so muß, sobald man über die für den bestimmten Vokal charakteristische Höhe und Tonstärke hinauskommt, dieser Vokalklang verschwinden. Tat-

sächlich ist dies letztere namentlich bei verlangsamter Drehung für alle Vokale der Fall; sie nehmen alle einen blökenden *ö*-artigen, Charakter an. Beschleunigt man die Drehung der Walze, so verlieren sie ihren Charakter nicht so schnell und die übrigen verschieden schnell. Am längsten hält sich das *a*.“ Die Versuche der verschiedenen Autoren stimmen zwar nicht durchweg im einzelnen überein, ergeben aber doch, daß da, wo schon bei geringer Änderung der Drehgeschwindigkeit eine Änderung des Vokalklanges hervorgerufen wird, das absolute Moment das bestimmende sein muß. Ähnlich wie Grützner drückt sich Hermann selbst darüber aus: „Nachdem nun die Vokale, Umlaute und Diphthonge einzeln bei der gewöhnlichen Umlaufsgeschwindigkeit aufgesprochen waren, erschienen sie bei der Reproduktion mit der gleichen Geschwindigkeit in unübertrefflicher Schönheit und Sauberkeit wieder. Schon bei wenig schnellerer Drehung näherten sich *E* im Charakter etwas dem *J* und *U* dem *O*, aber die Vokale blieben noch gut erkennbar. Bei noch schnellerer Drehung waren *E* von *J*, *U* von *O* nicht mehr zu unterscheiden und verloren ihren Charakter immer mehr, indem sich alle Vokale einem zwischen *Ae* und *Oe* liegenden Laute gleichmäßig annäherten; *A* behielt seine Erkennbarkeit am längsten, verlor sie aber ebenfalls bei großer Geschwindigkeit. Durch Verlangsamung des Ganges unter die beim Aufschreiben verwendete Geschwindigkeit gingen die Vokalcharaktere noch viel leichter verloren als durch Beschleunigung. Alle Vokale nahmen bald einen blökenden Charakter an, etwa gegen *Oe* hin klingend, am besten vergleichbar dem bekannten Laute, welchen angeblasene Kalbskehlköpfe geben.“ „Diese Versuche wurden öfters und mit erneuten Aufzeichnungen wiederholt und gaben stets dasselbe Resultat. Ich halte es hiernach für festgestellt, daß wenigstens einer der Hauptcharaktere der Vokale in relativ festen Partialtönen liegt.“

Es ist nicht unwesentlich, die obengenannten Interferenzversuche von Grützner und Sauberschwarz auf die beiden Haupttheorien, die Formantentheorie nach Hermann und die Oberton- oder Resonanztheorie nach Pipping, anzuwenden. Dabei ergab sich folgendes:

1. Die meisten Vokale, namentlich *a* und *o*, werden durch Auslöschung ihres Formanten und seiner ungeradzahligen Ober-

töne unter mehr oder weniger bedeutender Verschiebung ihres spezifischen Vokalklanges zu nasalierten Vokalen umgewandelt.

2. Diese Auslöschung ist für alle Vokale von großem, aber nicht für alle von dem gleichen Einfluß. Alle Vokale mit hohem Formanten (*e, i, ü, ö, ä*) werden hierdurch in ein tiefes, unbestimmtes (*m*-, *n*- oder *u*-artiges) Brummen umgewandelt. Sind zwei oder mehr Formanten vorhanden, so ist die Auslöschung von allen wirksamer als die von nur einem und bei zwei Formanten die des höheren allein viel wirksamer als die des tieferen allein.

A wird mäßig stark verändert und zwar bei Auslöschung nur eines (Hermann) oder nur des tieferen Formanten (Pipping) mit nasalem Beiklang nach *o* zu verschoben, nach Auslöschung auch des zweiten höheren (Pipping) ganz vernichtet. Man hört nur ein unbestimmtes näselndes *äng*.

U wird namentlich in den tieferen Stimmlagen wenig verändert und wird nur mehr brummend, *m*-artig; in den höheren verschiebt es sich unter Annahme eines nasalen Beiklanges nach einem unbestimmten *a*-artigen Klange.

Völlig vernichtet wird durch Auslöschung des Hermannschen Formanten das *ä*. Die Auslöschung eines oder beider Pippingschen Resonanztöne verändert es wenig.

O wird nasaliert und in einen unbestimmten *a*- oder *u*-artigen Klang umgewandelt.

Es zeigte sich also, daß in dem einen Falle die Vokale mehr denjenigen von Hermann, in einem anderen mehr denjenigen von Pipping glichen, und daß die von beiden angegebenen charakteristischen Tonhöhen nur dann die richtigen waren, wenn durch ihr Auslöschen der Vokalklang vollständig oder doch fast vollständig vernichtet wurde.

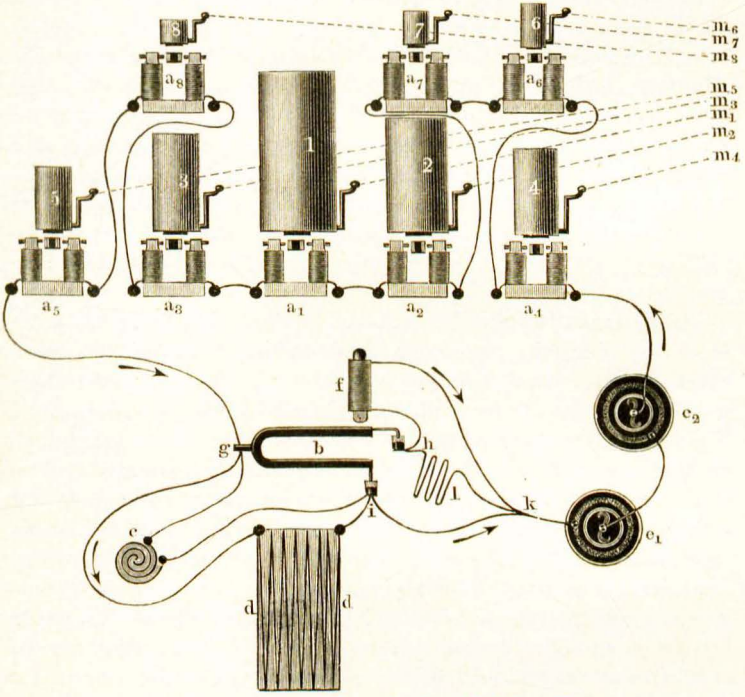
g) Synthese der Vokale.

Auf Grund der durch Experimente gewonnenen theoretischen Vorstellungen eine Synthese der Vokale auszuführen, unternahm zuerst, wenn wir von den Versuchen von Hooke und Wallis absehen, Helmholtz. Er benutzte dazu eine Anzahl elektrisch angetriebener Stimmgabeln, und es wird hier an dieser Stelle genügen, wenn auf seine Beschreibungen in den „Tonempfindungen“ S. 196 ff. verwiesen und auch bezüglich der Art der Anstellung

des Versuches auf Fig. 73 hingewiesen wird. Die Vokale *u*, *o*, *ö* und *a* konnte Helmholtz gut nachbilden, auch *ä* und *e* gelang noch; *i* konnte er nicht darstellen.

Sehr interessant sind die Hermannschen Versuche einer synthetischen Vokalbildung. Er sucht in verschiedenster Weise den Vorgang nachzuahmen, welcher nach seiner Ansicht und nach

Fig. 73 (aus Nagel).



Helmholtzscher Versuch der Vokalsynthese.

seinen Resultaten der Bildung von *a* und *o* zugrunde liegen mußte. Zunächst versuchte er, einen konstanten Ton von der Höhe *f‴* oder *fis‴* in rascher Intermission dem Ohre zuzuleiten und zwar auf zwei Arten. Bei der einen Art wurde eine Röhrenleitung hergestellt, welche an einem Ende einen Trichter hatte, vor dem eine Labialpfeife *f‴* angeblasen wurde. Das Rohr wurde

in den Gehörgang gesteckt. An einer Stelle war diese Leitung unterbrochen und hier eine Pappscheibe mit 18 Löchern von 16,5 mm Durchmesser eingeschaltet, so daß die Röhre durch die rotierende Scheibe abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde. „Hierbei trat in der Tat eine freilich sehr unreine, durch das Geräusch der rotierenden Scheibe stark gestörte *A*-artige Schallempfindung auf, und zwar in dem tiefen Ton, welcher der Anzahl der Löcherdurchgänge entsprach, während der hohe Ton der Pfeife beim raschen Rotieren gar nicht zur direkten Wahrnehmung gelangte.“ Andererseits verband er zwei in entfernten Zimmern befindliche Telephone durch eine Leitung. Vor dem einen Telephon wurde die *f*″- bzw. *fis*″-Pfeife geblasen und am anderen gehört. In dem Zimmer, in dem sich das erste Telephon befand, war nun in die Leitung ein Unterbrechungsrad eingeschaltet, während dessen Rotation man den Pfeifenton nicht hörte, sondern ein Geräusch, dessen Höhe der Unterbrechungszahl entsprach; ein Vokalcharakter konnte hier aber nicht festgestellt werden.

Interessant ist der Versuch am Savartschen Zahnrade, der dem oben zitierten von Hooke durchaus ähnelt. Die vier Savartschen Räder hatten 80, 60, 50 und 40 Zähne. An dem Rade mit 80 Zähnen wurden nun von je acht Lücken je zwei durch Klebwachs geschlossen, so daß der Rotationston bei jeder Umdrehung zehnmal unterbrochen wurde. Hierbei entstand, wenn man den Rand mit einer spitzen Tüte aus dünnem Papier anstrich, ein sehr rauhes, entschieden an *A* erinnerndes Geräusch, sobald die Umdrehungszahl etwa 10 pro Sekunde betrug. Der Ton dieses *a* war tief; er entsprach ungefähr dem *G* (100 Schwingungen), während der Zahnton bei dieser Geschwindigkeit ungefähr 800 Schwingungen betrug, d. h. *g*″ bis *gis*″ war. Hermann zieht daraus den Schluß, daß es offenbar sei, daß das Ohr periodische Unterbrechungen eines Tones, wenn dieselben eine genügende Frequenz haben, als besonderen und zwar in der Stärke überwiegenden Ton wahrnimmt. Mit Lochsirenen konnte Hermann vokalartige Klänge nicht hervorbringen. Sehr interessant ist aber sein Versuch, periodische Schwankungen hoher Töne, wie sie ja nach seiner Ansicht dem Vokal entsprechen, durch passende Interferenz zweier Töne hervorzubringen. Nach dem oben Gesagten mußte es möglich sein, ein *A* auf die Note *c* annähernd

hervorzubringen, durch Angeben zweier Töne, deren Schwebungszahl, d. h. Schwingungsdifferenz, gleich der Schwingungszahl von c und deren arithmetischer Mittelton der charakteristische Ton von A, d. h. etwa fis'', ist. Ist also n die Schwingungszahl der Note, auf die das A angegeben werden soll, und p diejenige des charakteristischen Tones von A, so bestimmen sich die beiden gesuchten Töne durch die Gleichungen $y - x = n$ und $\frac{1}{2}(y + x) = p$, woraus folgt: $x = p - \frac{n}{2}$ und $y = p + \frac{n}{2}$. Hieraus berechnet sich, wenn wir für A $p = 740$ annehmen (fis'' als Mitte des Bereiches c'' bis gis''):

A auf die Note	c,	$x = 674{,}6$	$(c^2 - f^2)$	u.	$y =$	$805{,}4$ $(g^2 - gis^2)$
A „ „ „	g,	$x = 642$	$(dis'' - e'')$	„	$y =$	838 $(> gis'')$
A „ „ „	c',	$x = 609{,}2$	$(d'' - dis'')$	„	$y =$	$870{,}8$ $(< a^2)$
A „ „ „	g',	$x = 544$	$(c^2 - cis'')$	„	$y =$	936 $(> ais'')$
A „ „ „	c'',	$x = 478{,}4$	$(cis' - h')$	„	$y =$	$1001{,}6$ $(h^2 - c''')$

Je höher also der Vokal angegeben werden soll, um so weiter müssen die beiden Töne auseinandergehen.

Versuche, die Hermann mit zwei singenden Flammen anstellte, ergaben nur unbefriedigende Resultate. Bessere erhielt er schon, wenn er seinen Versuch mit zwei nebeneinander auf dem Anblasetisch angebrachten Labialpfeifen mit verschiebbaren Stopfen machte, deren Töne von a' bis über c''' reichten. Die besten Resultate jedoch erhielt er mit der Helmholtzschen Doppelsirene. Er konnte in der Tat durch geeignete Kombination der Löcherreihen die Vokale a, $\ddot{a}$ und o deutlich erzeugen und die jedesmalige Geschwindigkeit am Zählwerk ablesen. Die auf diese Weise erlangten und kontrollierten Resultate der Vokale o und a stimmten ziemlich befriedigend zu der von Hermann aufgestellten Theorie. Die Vokale e und i konnten nicht erzeugt werden, da sich die Doppelsirenen nicht bis zu den erforderlichen Geschwindigkeiten antreiben ließen.

Nach den Versuchen von Karl L. Schaefer und Otto Abraham kann es übrigens keinem Zweifel unterliegen, daß durch das Anblasen eines rotierenden, mit Unterbrechungen durchsetzten Löcherkreises ein objektiver, auf pendelförmigen Schwingungen der Luft beruhender Ton, dessen Schwin-

gungszahl mit der Anzahl der Unterbrechungen übereinstimmt, nebst Obertönen zustande kommen kann. Ebenso ist nach denselben Autoren erwiesen, daß auch der aus dem periodischen Größenwechsel der Sirenenlöcher resultierende „Intermittenzton" objektiv als pendelförmige Komponente in der durch das Anblasen einer solchen Löcherreihe entstehenden Klangwelle enthalten ist.

Hermann hat in letzter Zeit seine Versuche über Synthese von Vokalen erneuert. Er ließ eiserne Scheiben, welche mit systematischen Löchern oder Ausschnitten versehen waren, dicht vor den Polflächen eines Telephons rotieren und verband das letztere mit einem Hörtelephon. War der Winkelabstand der Ausschnittsmitten $1/\varphi$ von 360°, p die Zahl der Gruppen auf der Scheibe und n die Zahl der Unterbrechungen pro Sekunde, so war die Schwingungszahl des Formanten $f = \varphi . n$, des Unterbrechungstones (Vokalnote) $r = p . n$. Jede Scheibe mußte also, um den Formanten f zu geben, f/φ Umdrehungen pro Sekunde machen und gab dann den Vokal auf die Note $r = pf/\varphi$. Die meisten Scheiben, welche A lieferten, gaben bei schnellerer Umdrehung allmählich Ae und dann E. Letzteres entstand aber nicht bei den Scheiben mit runden Löchern, weil hier der Formant nicht kräftig genug entstand. Den allmählichen Übergang der Vokalklänge zeigen nebenstehende Tabellen. Der Mittelabstand der Ausschnittmitten war hier 9°, also $\varphi = 40$; von Ausschnittgruppen waren sechs vorhanden, also $p = 6$. Diese Tabelle entstand bei einer Scheibe mit abgerundeten Ausschnitten.

Das E wird um so verschiedener, je zahlreicher die Formanteinschnitte sind, je mehr sie die Periode ausfüllen. Zur Hervorbringung des Vokales braucht die Formantschwingung nicht anaperiodisch zu sein — zur Einzelperiode in festem Verhältnis zu stehen —, jede regelmäßige Unterbrechung der Formantschwingung gibt den Vokal auf die Note des Unterbrechungstones, jedoch scheint der Vokal bei anaperiodischer Formantschwingung vollkommener zu sein. Ein geschlossenes O konnte Hermann nicht hervorbringen, häufig gelang dagegen das offene Ao.

Endlich wiederholte Hermann den oben beschriebenen Versuch an der Helmholtzschen Doppelsirene mit der elektrischen Sirene. Setzte er zwei Scheiben in Bewegung, die bei 18 Umdrehungen $e^2—f^2$ bzw. $g^2—as^2$ gaben, so hörte man ein schönes,

Umdrehungszahl pro Sekunde n	Formant: Schwingungszahl qn	Formant: Ungefähre Note	Unterbrechungston (Vokalnote): Schwingungszahl pn	Unterbrechungston (Vokalnote): Ungefähre Note	Charakter des Lautes
13	520	c^2—cis^2	78	Es—E	blökender Laut
14	560	des^2	84	F	undeutl. A, etwas
15	600	dis^2	90	Fis	nach Ao
16	640	e^2	96	G	deutliches A
17	680	f^2	102	As	
18	720	fis^2	108	A	sehr gutes A
19	760	g^2	114	B	
20	800	gis^2	120	H	
21	840	a^2	126	c	deutliches A
22	880	ais^2	132	cis	undeutliches A
23	920	b^2	138	des	undeutl., nach Ae
25	1000	his^2	150	dis	spielender Laut
28	1120	des^3—d^3	168	f	kein Vokalcharakter

Bei einer anderen Scheibe ergab sich folgende Tabelle:

n	qn	Formantnote	pn	Vokalnote	Charakter
42	1680	as^3—a^3	252	$< c'$	Ae
48	1920	h^3	288	d'	Ae—E
50	2000	$< c^4$	300	dis'	
53	2120	c^4—cis^4	318	e'	gutes E
57	2280	$< d^4$	342	f'	
60	2400	dis^4	360	$> fis'$	
64	2560	e^4	384	g'	kein deutl. Vokal

deutliches A auf die Note e im Hörtelephon. Schaltet man beide Aufnahmetelephone nebeneinander in den Kreis des Hörtelephons, so wird das A noch charakteristischer, da der Widerstand jetzt wesentlich kleiner wird. So gelingt es auch, dem Differenzton den E-Charakter zu verleihen; bei 50 Umdrehungen gibt die eine Scheibe etwa b^3, die andere etwa cis^4, beide zusammen ein schönes E auf die Note ais^1. (Pflügers Archiv **91**, 135 ff.)

In einer Anmerkung bedauert Nagel (S. 784), daß es bisher nicht gelungen sei, durch eine Zungenpfeife Ansatzrohre von der Größe und Beschaffenheit der menschlichen Mundhöhle so anzublasen, daß klare unzweifelhafte Vokalklänge entstehen, und meint, daß das Gelingen eines derartigen Experimentes für die Hermannsche Theorie die schwerstwiegende Bestätigung bedeuten würde. Mir scheint, daß dies in einfachster Weise so geschehen kann, daß man dem eigenen Ansatzrohr die Stellung der gewünschten Vokale gibt und dann den Ton einer kleinen Zungenpfeife hineinleitet. Es gelingt in der Tat ohne Mühe, die Vokale *a*, *o*, *u* und *e* zu erzeugen, wenn man eine gewöhnliche Jahrmarktspfeife, die von einem aufgeblasenen Gummiballon zum Tönen gebracht wird, in die Mundhöhle leitet. Der Vokal *i* kann nur erzeugt werden, wenn man den Ton hinter die *I*-Enge bringt; das geschieht am besten, wenn man ihn durch einen weichen Katheter durch den unteren Nasengang hinter und unter das Velum einströmen läßt. In dieser Weise läßt Gluck den künstlichen Kehlkopf benutzen, und auch bei normalen Verhältnissen gelingt die Erzeugung der Vokale so ganz ohne Mühe. Wichtig ist dabei, daß das Ansatzrohr der kleinen Pfeife nicht zu kurz sei, da die Tonhöhe sonst von der Mundhöhle jedesmal verändert wird; daß man so Papa, Mama, Puppe, Baum usw. sprechen kann, indem man nur die betreffenden Artikulationen macht, habe ich oft bei meinen Vorlesungen gezeigt. Kaka gelingt leicht, wenn man die *K*-Stellung der Zunge festhält und die Öffnung der Pfeife zweimal durch Andrücken an die Vorderfläche des Zungenrückens verschließt. Geht man dann vom zweiten *a* in die *O*-Stellung über, so tönt deutlich Kakao usf.

Die mechanischen Nachbildungen der Vokale sind zwar physiologisch interessant, genügen aber natürlich der Bedingung, die Nagel fordert, nicht. Erwähnen wir kurz die Sprechmaschinen von Kempelen, Faber, die Versuche von Kratzenstein usw. Die Puppenstimmenverfertiger des Thüringer Waldes machen sehr hübsche kleine Maschinen, die Vokale und Worte gut wiedergeben. Vielleicht sind gerade solche Stimmen für Analysen nicht ohne Bedeutung.

Vielleicht bisher zu wenig ausgenutzt ist der Klavierversuch von Helmholtz zur Erzeugung der Vokalklänge: Hebt man durch Niederdrücken des rechten Pedals die Dämpfung auf

und spricht in den geöffneten Hohlraum des Klaviers einen Vokal hinein, so tönt derselbe aus dem Innern wieder zurück. Donders, dem Helmholtz im Jahre 1859 dies Experiment schriftlich mitteilte, bemerkt dazu recht hübsch: „'t klinkt mij, als of een choor van stemmen of mysterieuse wijse uit de diepte opstijgt, zingende in den ingezongen vocaal.“ Man kann auf die Weise sämtliche Vokale, aber auch die tönenden Konsonanten *m*, *n*, *ŋ* (= *ng*), *l* deutlich reproduzieren. Ein „Chor von Stimmen“ tönt aber nur dann wieder, wenn man die Vokale spricht oder ruft, nicht wenn man sie auf einen bestimmten Ton hineinsingt. Da die Grundtonhöhe beim Rufen und Sprechen schwankt, so ist das Phänomen des antwortenden Chors von Stimmen leicht erklärlich. Beim Singen klingt nur eine Stimme zurück. Übrigens ist kein Klavier so vollständig gedämpft, daß nicht auch bei unaufgehobener Dämpfung die Vokale, wenn auch nur schwach, wiedergegeben würden. Ich habe daher, um nachzuweisen, daß nur die Saiten — nicht etwa der Resonanzboden — als synthetische Resonatoren dabei wirken, dieselben durch aufgelegte und beschwerte Filzstreifen völlig abgedämpft. Man hört dann auch bei stärkstem Rufen keine Antwort. Läßt man eine beliebige Gruppe von Saiten durch Abnahme der Filze und durch Niederdrücken der entsprechenden Tasten völlig ungedämpft, so kann man durch Ausprobieren feststellen, in welcher Region der Skala diejenigen Töne liegen, deren Resonanz den Vokal wiedergibt. Man kann demnach den so veränderten Klavierversuch zu einer Vokalanalyse per exclusionem benutzen.

h) Analyse der Konsonanten.

Diese ist zuerst von Hermann und seinen Schülern aufgenommen worden. Der erste Versuch wurde am *L* gemacht.

Hermann teilt die Konsonanten auf Grund der akustischen Eigenschaften in folgender Weise ein:

a) Konsonanten mit Mitwirkung der Stimme (phonische Konsonanten):

1. Glatte Halbvokale, Laute, die insofern zu den Vokalen gehören, als sie geräuschlose Klänge mit einem oder mehreren festliegenden Formanten sind, die aber mit Recht nicht schlechtweg als Vokale, sondern als Halbvokale bezeichnet werden, da sie

nicht die Offenheit und den Klang der eigentlichen Vokale haben: *l*, *m*, *n*, *ng*;

2. Remittierende Halbvokale mit den gleichen Eigenschaften, die aber außerdem als Charakteristikum eine relativ langsame periodische Intensitäts- und Amplitudenabwechslung haben: die verschiedenen *r*-Laute;

3. Chronische Dauergeräuschlaute, die aus kontinuierlichen, vom Stimmlaut begleiteten Geräuschen entstehen, in denen gewisse anscheinend nicht mit dem Stimmlaut zusammenhängende Formanten enthalten sind: *w*, *s*, *th*, französ. *j*, *j*;

4. Phonische Explosivlaute, solche, in deren Verschlußzeit die Stimme ertönt: *b*, *d*, *g*.

b) Konsonanten ohne Mitwirkung der Stimme (aphonische Konsonanten):

1. Aphonische Dauergeräuschlaute, Reibungsgeräusche von ziemlich variablem Charakter, in welchen gewisse charakteristische Formanten enthalten sind: *f*, *ss*, *th*, *sch*, *ch* (vorderes und hinteres);

2. Aphonische Explosivlaute: *p*, *t*, *k*.

Ergebnisse: 1. Der *L*-Laut ist in keiner prinzipiellen Hinsicht von den Vokalen verschieden, wie bereits Wendeler richtig erkannte. Er kann deshalb auch auf jeder Stimmnote laut und anhaltend angegeben werden. Der Konsonant wird durchaus nicht von einem vorhergehenden oder folgenden Vokal beeinflußt. Die *L*-Kurven sind also in den Silben *al*, *ol*, *il*, *la*, *lo*, *li* absolut identisch. Die Kurven selbst sehen genau wie Vokalkurven aus und gleichen am meisten denjenigen des kurzen *i*. Die Analysen der Kurven ließen eine starke Hervorragung der tiefsten Partialschwingungen erkennen, die vom 2. und 3. mit zunehmender Höhe der Note allmählich auf den 1. und 2. und zuletzt auf den 1. Partialton herabrücken. Es handelt sich hier also nicht um einen festen Formanten, vielmehr um eine Eigenschaft, die auch bei manchen Vokalen, namentlich beim *i* sich findet, nämlich das Hervortreten der tieferen Partialtöne. Daneben aber zeigt sich ein wirklicher fester, charakteristischer Ton, d. h. Formant, in der dreigestrichenen Oktave in der Gegend zwischen *cis'''* und *fis'''*, ein Formant, der sich in den kleinen Zacken der Kurve in der Tat deutlich erkennen ließ, und dessen Lage, durch Proportionalmessung bestimmt, durchaus mit den Resultaten der Analyse

übereinstimmt; ja die proportionale Messung ergab noch weit deutlicher als die Analyse, daß der *L*-Laut durch einen Formanten zwischen f''' und g''' charakterisiert war. Nebenbei sei bemerkt, daß die *L*-Kurve von Wendeler recht gut mit der von Hermann und Mathias gefundenen *L*-Kurve übereinstimmte.

Bei *M* zeigt sich ein Formant etwa bei h''' bis c'''', der durch Auszählung gefunden wurde. Bei der Analyse zeigten sich außer diesem noch Prominenzen bei e'' bis gis'', bei e''' bis fis''' und bei h^3 bis cis^4. Ein sicherer Unterschied zwischen *m* und *n* war nicht nachzuweisen. Interessant ist, daß Hermann bei zahlreichen Kurven, in welchen ein Vokal zwischen zwei *m* oder *n* steht, deutlich nachweist, daß die Note des Anfangskonsonanten meist um eine Quart oder große Terz tiefer war als die des folgenden Vokals und des Endkonsonanten, was er nachträglich auch durch das Gehör bestätigen konnte. „Man kann sich freilich zwingen, auch dem Anfangskonsonanten die Note des folgenden Vokales zu geben, und wenn man unisono mehrere Silben unmittelbar hintereinander singt, geschieht dies von selber stets, aber bei dem ungezwungenen Aussprechen besteht wenigstens bei mir und bei anderen darauf geprüften Personen die Neigung, mit einem erheblich tieferen *m* oder *n* anzufangen, und dasselbe gilt auch für andere phonische Anfangskonsonanten ...“ (vgl. hierzu S. 70).

2. Die remittierenden Halbvokale (*R*-Laute). Die Periodik des Schnurrens zeigt sich in einem schwebungsartigen Amplitudenwechsel der Gesamtkurve, die aber im übrigen ihre charakteristische Gestalt beibehält (so schon Wendeler). Die Frequenz des Wechsels unterliegt großen individuellen Verschiedenheiten, wobei das gutturale *r* bei derselben Person oft größere Frequenz hat als das linguale. Die Notenhöhe hat keinen entschiedenen Einfluß, außer bei großer Anstrengung, wobei die Frequenz mit der Note steigt; der Anstrengungsgrad erhöht entschieden die Frequenz. Hermann erwähnt noch, daß beim Sprechen für ein *r* mitten im Wort schon sehr wenige Schnurroszillationen, fünf und weniger, genügen, um ein für das Gehör deutliches *r* zu liefern. Beim schnellen Sprechen werden im Deutschen bei dem lingualen *r* durchschnittlich kaum mehr als zwei Schnurroszillationen gemacht, ja es genügt eine einzige, um den Charakter des *r* zu erkennen. Man könnte dementsprechend das *r* sogar so definieren, daß man

für eine wirkliche Charakterisierung des Lautes nur eine flüchtig vorübergehende Abdämpfung der Vokalkurve verlangt. Diese Vokalkurve bleibt in den *r*-Kurven durchaus sichtlich, und so gibt Wendeler an, daß in dem Worte Arro das *r* zuerst eine in der Amplitude schwankende Fortsetzung der *a*-Kurve darstellt, später in eine oszillierende *o*-Kurve und zuletzt in ein glattes *o* übergeht. Man vergleiche hierzu weiter unten die Fig. 90. Hermann meint, daß dazwischen eine vollkommen selbständige Kurve des *R* auftrete, die besonders dann schön zu sehen sei, wenn man das *R* zwischen zwei Vokalen lange aushalte. In der Tat kann man ja ein gutes *r* ohne spezielle Vokalfärbung charakteristisch sprechen. Der ausgezählte Formant war für die Note *c* (128 Schwingungen) *ais'''* bis *h'''*, für die Note *e* (160 Schwingungen) *h'''* bis *cis''''*, für die Note *g* (192 Schwingungen) *h'''* bis *cis''''*. Man sieht, daß dieser Formant mit demjenigen von *m* und *n* übereinstimmt. Bei der Analyse zeigten sich für das linguale *R* noch Formanten bei *h''* und im zweiten Teile der 3. und im Anfang der 4. Oktave, welch letztere mit den Ergebnissen der Auszählung übereinstimmten. Für das gutturale *R* fand sich ein Formant im zweiten Teile der 3. Oktave.

3. Die aphonischen Explosivlaute *p*, *t*, *k*. Bei den Kurven ist für alle drei Konsonanten bei vorhergehendem Vokal charakteristisch eine ziemlich lange stumme Zeit (Verschlußzeit), in welcher die Kurve natürlich auf der Abszissenachse verläuft. Die Dauer dieses Verschlusses war bei Hermanns Kurve niemals unter 0,1″, meist betrug sie 0,3 bis 0,4″, bei *t* und *k* in der Regel etwas mehr als bei *p*; bei zwei aufeinander folgenden Silben, wie pippip, pappap usw., war die Pause nach dem zweiten Vokal viel länger als nach dem ersten, bis über das Doppelte und mehr. Natürlich kann man die Verschlußzeiten auch willkürlich beliebig verlängern. Nach der Pause zeigte sich der Ausdruck der Explosion stets in Gestalt einer kurzen Geräuschkurve, oft zugleich in Gestalt einer starken Exkursion durch gesteigerten Luftdruck, die bei *p* stets sehr steil begann und allmählich nachließ, während bei *t* und *k* die beiden Schenkel symmetrischer und weniger steil waren. Die Gesamtdauer der Explosion war bei *p* am größten und betrug bei *p* $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{10}$ Sek. Der Luftdruck der Explosion ist für das Hören der Konsonanten ohne jede Bedeutung. Oft fehlt sie ganz bei *p*, *t*, *k*,

während der Phonograph sie bei *p*, *t*, *k* so wie sonst hören läßt. Dem Explosionsgeräusch folgen bei *p* in der Regel unmittelbar die Perioden des Vokals, während bei *t* und *k* meist eine stumme, sehr kurze Zeit mit unbedeutenden Geräuschoszillationen folgte, was auch bei *p* zuweilen vorkam. Mir scheint, daß hier ganz deutlich der Charakter der aspirierten Tenuis sich zeigte. Die Bestimmung der Geräuschkurven ist in eigentlicher Analyse nicht möglich, da diese Kurven unperiodisch sind. Aber meist zeigen sich in längeren Strecken annähernd äquidistante Zacken von oft beträchtlicher Höhe, die man für gewisse Abszissenlängen auszählen und bei denen man durch Vergleichung mit den Periodenlängen des angrenzenden Vokals von gegebener Note die entsprechenden Töne bestimmen kann. Bei Hermanns *p* lag dieser Ton bei 213 bis 226 Schwingungen = *a* bis *ais*, in einigen wenigen Kurven bei 290 bis 320 = *d'* bis *e'*, für *k* bei 1370 bis 1440 = *f'''* bis *fis'''*, für *t* bei 1428 bis 1536 = *fis'''* bis *g'''*, einmal bei 1920 = *h'''*.

4. Die aphonischen Dauergeräuschlaute *f*, *ss*, *sch*, *ch* (vordere) und *ch* (hintere). Für das hintere *ch* bestimmte Hermann den charakteristischen Ton für die Gegend von *b''* bis *des'''*; indessen mischten sich öfter dichter gedrängte Zacken ein, meist Frequenzen um 1300 herum, d. h. von *e'''* bis *f'''*. Beim *sch* fanden sich Frequenzen von 1200*(*dis'''*) bis 2700 (*f''''*), meist um 2000 (*h'''*), bei *ss* Frequenzen der Zacken von meist 1600 bis 2000 (*gis'''* bis *h'''*), außerdem oft solche von 1000 bis 1100 (*h''* bis *des'''*). Beim starken *ss* zeigten sich zuweilen sehr feine Zäckchen für Frequenzen um 3000 = *g''''*, die auf gröbere (etwa 600) aufgesetzt waren. Das vordere *ch* zeigte ziemlich grobe Zacken (750 bis 800, in einem Falle sogar nur 456 pro Sekunde), auf welche in einigen Kurven weit feinere aufgesetzt waren, welche Frequenzen von etwa 1100 (*des'''*), 2280 (*d''''*) und 2736 (*f''''*) zeigten. Die Kurven von *f* ließen, wenn es sehr forziert gesprochen wurde, gewöhnlich eine bestimmte Periodik von 150 bis 250 Schwingungen pro Sekunde erkennen, die Hermann auf den Ton bezieht, den in solchen Fällen die Lippen oder die Unterlippe mit den oberen Schneidezähnen geben. Dem gewöhnlichen *f* fehlt diese Periodik, und es zeigen sich gröbere und feinere Zacken, in welchen teilweise Frequenzen von 1300 bis 1500 (f^3 bis g^3) und 1700 bis 2000 (a^3 bis c^4) gezählt werden

können. Hermann selbst hebt hervor, daß in den Lauten *ch* (hintere), *ss* und *ch* (vordere) das Ohr die Beteiligung sehr hoher Töne heraushöre, jedenfalls weit höherer, als sie aus den Zäckchen auszählbar seien, und ist daher überzeugt, daß die Methode für die vollständige Darstellung dieser Laute nicht ausreiche. (Vgl. S. 89.) In der Tat sind ja auch diese Laute, besonders das *ss*, durch den Phonographen nur schlecht wiederzugeben. Ich darf in dieser Beziehung auf Versuche verweisen, die ich selbst zu ganz anderen Zwecken mit dem Phonographen angestellt habe.

5. Die phonischen Dauergeräuschlaute *w*, *s*, *j* und *j* (französ.). Hier zeigt sich eine sehr deutlich ausgesprochene Stimmperiode wie bei *l*, *m* und *n*, auf welche feine Zäckchen aufgesetzt sind, die jedoch nicht die regelmäßige Beschaffenheit haben wie diejenigen der glatten Halbvokale. Sie wechseln ihren Abstand unregelmäßig innerhalb der Stimmperiode, so daß es schwer ist, sie auszuzählen. Die mittlere Frequenz entsprach den Noten c'''' bis d'''', nicht selten auch fis''' bis ais''', bei dem labiodentalen *w*. Das tönende *s* zeigte Zäckchen von der mittleren Frequenz von ais''' und c'''' bis e''''. Bei dem französischen *j* fanden sich dementsprechend die Noten ais''' bis h''' und cis'''' bis f''''. *j* zeigte wenig charakteristische Kurven, die Zäckchen entsprachen den Noten c^4 und e^4 und waren offenbar identisch mit dem Formanten des Vokales *i*.

6. Die phonischen Explosivlaute *b*, *d*, *g*. Den Blählaut dieser drei tönenden Explosivlaute bestimmte Hermann durchweg auf die Noten zwischen g''' und a''', ohne daß er zwischen den einzelnen Konsonanten Unterschiede sicher festzustellen vermochte. Die Luftdruckexkursion zeigte sich bei *b*, aber lange nicht so beträchtlich wie bei *p*, bei *d* und *g* überhaupt nie. Wenn *b*, *d* und *g* gesprochen wurden, ohne daß ein Vokal darauf folgte, wie z. B. im französischen Aube, Suède, plague, so zeigte die Kurve eine Art Vokalschwankung, welche bei *g* gewöhnlich niedriger war als bei *b* und *d*. In diesen ließ sich der Formant leicht auszählen. Er lag unabhängig von der Stimmnote bei g''' bis a''', bei *d* ein wenig höher, bei h''' bis c'''.

Wichtig ist, was Hermann selbst über die Kurven und seine bisherigen gesamten Resultate sagt: „Zunächst weist die Akustik der Sprachlaute an sich noch größere Lücken auf, welche niemand weniger verkennen kann als ich; denn ich gestehe, daß

ich mir nicht getraue, beim Anblick jeder, selbst gut gelungenen Konsonantenkurve mit Sicherheit zu sagen, welchen Konsonanten sie darstellt. Von der Möglichkeit, eine in eine fortlaufende Kurve umgesetzte Phonographenschrift zu lesen, sind wir also noch sehr weit entfernt. Und doch wäre eine solche Schrift das Ideal aller denkbaren Schriftarten, denn sie enthält nicht allein das, was jede gedruckte und geschriebene Schrift bietet, sondern zugleich Aussprache und Klangfarbe des Sprechenden, alle Hebungen und Senkungen der Stimmnote, alle Pausenverhältnisse usw., und bei Sprache, Gesang (Lied) auch die Melodie, ja die ev. Begleitung und, wenn diese ein Orchester ist, die ganze Partitur der Oper einschließlich des Textes. Die Herstellung einer so vollkommenen Phonographenkurve dürfte auf weniger Schwierigkeiten stoßen als die Fähigkeit, sie zu entziffern, d. h. aus dem durch eine einzige Linie dargestellten Tongewirre diejenigen Bestandteile herauszuerkennen, welche das Ohr mit unvergleichlicher Leichtigkeit heraushört."

2. Formen und Bewegungen des Ansatzrohres.

Während sich die bisher besprochene akustische Analyse vorwiegend mit den Klangphänomenen beschäftigt, beziehen sich die folgenden Abschnitte auf die verschiedenen Methoden, mittels deren man Stellungen und Bewegungen der Ansatzrohrteile genauer verfolgen kann, wie man demnach feststellen kann, durch welchen Mechanismus der vorher besprochene Klang der Stimme erzeugt wird. Alle diese Sprachbewegungen können in verschiedener Weise analysiert werden: erstens durch Beobachten und zweitens durch Registrieren. Gewöhnlich nennt man die erste Methode die subjektive, die zweite die objektive, obgleich damit durchaus nicht gesagt ist, daß unter allen Umständen die zweite Methode immer die bessere und zuverlässigere sein muß. Denn bei keiner Methode, welcher Art sie auch immer sei, schützen uns irgend welche leicht übersehbare Fehler der Versuchsanordnung vor Irrtümern, und es ist zwar ein weit verbreiteter Irrtum, zu glauben, daß graphische Experimente stets phonetisch sicherere und zuverlässigere Resultate geben als scharfes Beobachten und Hinhören, aber es bleibt deswegen doch ein Irrtum. Die Anwendung der Graphik hat eine große Reihe von Nachteilen im Gefolge, vor

allem die Zwangslage, in welche die zu untersuchende Person versetzt wird, und die bei der Anwendung keines einzigen Instrumentes ausbleiben kann. Schon die scheinbar ganz objektive Untersuchung der Sprachklänge mittels der phonographischen Aufnahmen zeigt deutliche Mängel, da man nur bei stärkerem Hineinsprechen Kurven bekommt, welche meßbar und untersuchbar werden. Auch der Hensensche Apparat erfordert ein starkes Ansprechen, das jedenfalls stärker ist, als es in der gewöhnlichen leichten, flüchtigen Umgangssprache stattfindet. Das gleiche ist bei dem Samojloffschen Apparat der Fall. Ein Apparat, der zuverlässig auch ganz leichte, gewöhnliche Sprache registriert und keinerlei irgendwie geartete Zwangslagen der zu untersuchenden Person voraussetzt, ist der Struyckensche, mit dem bisher der Erfinder allein zu arbeiten Gelegenheit hatte. Auch das Weissche Phonoskop scheint genügend Empfindlichkeit zu besitzen (s. o.). Bei unseren graphischen Methoden dürfen wir niemals die Beeinflussung durch die Untersuchungsmethodik selbst außer acht lassen und nie vergessen, daß man exakte Untersuchungsresultate nur von Personen erwarten kann, die selbst genügend mit derartigen Experimenten vertraut sind, um sich aus ihrer gewöhnlichen Sprechbewegung nicht durch die mit der Untersuchung stets verknüpfte Erregung herausbringen zu lassen. Es wäre direkt ein Untersuchungsfehler, wollte man eine ganz unvorbereitete Person mit sämtlichen graphischen Instrumenten untersuchen und die registrierten Resultate nun wissenschaftlich verwerten. Auch das einfache Beobachten ohne Instrumente und das Befühlen und Betasten der Sprachwerkzeuge, das Nachforschen nach Vibrationen an den verschiedenen Stellen des Ansatzrohres und vieles andere mehr muß mit sehr großer Vorsicht betrieben werden, da es erfahrungsgemäß schon oft genug zu fehlerhaften Resultaten geführt hat.

a) Analyse der Sprachbewegung durch Beobachten.

Drei Sinne stehen uns zur Verfügung, mit denen wir die Sprache beobachten können: das Gehör, das Gesicht und das Getast. Was die Bedeutung des Gehörs für die Beobachtung anlangt, so ist darüber bereits bei der Analyse der Vokale gesprochen worden, und wir sahen, daß man imstande ist, auch aus

den einfach gesprochenen oder gesungenen Vokalen die Obertöne herauszuhören. Es muß aber hier nachgeholt werden, daß die Beobachtung der gesprochenen Laute durch das Gehör engere Grenzen hat, als man gemeiniglich anzunehmen geneigt ist. Man glaubt oft einen bestimmten Laut zu hören, und in Wirklichkeit wurde nur ein ähnlich klingender gesprochen. Wie oft werden besonders akustisch ähnliche Lautphänomene miteinander verwechselt! Prof. Meinhof berichtete mir über seine Erfahrungen am Orientalischen Seminar, daß die Praktikanten, denen er aufträgt, eine afrikanische Sprache, von der sie bis dahin noch keine Ahnung haben, phonetisch aufzunehmen, d. h. in Buchstabenzeichen niederzuschreiben, was sie hören, dabei ganz gewöhnlich die klangähnlichen Laute verwechseln. Meinhof führt in seiner „Linguistik“ (1906) folgendes aus: „Nehmen wir mit den Ohren einen bekannten Schall auf, den wir selbst erzeugen können, so werden wir ihn sofort identifizieren. Hören wir z. B. die Silbe *na*, die wir selbst ohne Mühe sprechen, so wissen wir sofort, was wir gehört haben. Hören wir aber die Silbe *ssa*, bestehend aus dem lateralen Schnalz und *a*, so werden wir, wenn wir den Schnalz noch nicht kennen, zunächst überhaupt keine Rechenschaft geben können, was wir hören. Erst wenn wir gelernt haben, ihn selbst nachzusprechen, werden wir ihn auch wieder erkennen, wenn andere ihn sprechen.“ Er stellt danach für phonetische Untersuchungen den Satz auf: Man hört nur das genau, was man selbst sprechen kann. In vielen Fällen genügt es, die Fehler zu vermeiden, wenn neben dem Gehör das Gesicht zur Beobachtung benutzt wird, aber durchaus nicht immer, denn es gibt zahlreiche Laute, die so feine diakritische Momente haben, daß wir sie weder mit Auge noch mit Ohr unmittelbar richtig auffassen können, und daß erst ein näheres Studium uns die Erkenntnis vermittelt. Will man die Grenzen der sprachlichen Perzeption, und damit die Fehlergrenzen dieser einfachen Untersuchungsmethodik feststellen, so muß man prüfen, wieviel das normale Ohr überhaupt von der Sprache aufzunehmen imstande ist. Die Versuche, die bis dahin dazu gemacht wurden, sind durchaus unzulänglich; denn entweder hat man einfach die Entfernungen geprüft, in denen Flüsterstimme noch vernommen wurde, oder man hat zu der Prüfung Worte verwandt, nicht ein-

fache Laute [1]). Verwende ich aber bei der Hörprüfung ganze Worte, so ist es klar, daß neben dem einfachen akustischen Eindruck noch etwas hinzukommt: die Erinnerung an eine früher schon gehabte klangähnliche Empfindung. Auf diese Weise ist es sehr leicht, Worte und Zahlen zu erkennen, selbst wenn man sie nicht genau hört. Der Unterschied zwischen dem einfachen Hören und dem Verstehen besteht eben darin, daß wir bei dem Gespräch nur einen Teil des Gesprochenen wirklich hören, das Fehlende aber leicht und zuverlässig durch Kombination ergänzen. Tritt diese Kombination, z. B. bei Nennung eines selteneren Personennamens, nicht ein, so sind wir nicht imstande, zu verstehen. Man kann sich beispielsweise sehr leicht überzeugen, daß wir am Telephon die Explosivlaute *p*, *t*, *k* nicht differenzieren können, daß wir *f*, *ss*, *sch*, *ch*, *z*, *x* miteinander vertauschen.

Um die Grenze unserer Perzeptionsfähigkeit dabei festzustellen, nahm ich die Prüfung des Gehörs mit sinnlosen Silben vor. Ich mischte willkürlicherweise 233 Silben durcheinander, ordnete sie zu dreien, vieren oder mehreren an, ließ sie auch einzeln und erhielt auf diese Weise 111 sinnlose Worte, die ich den zu untersuchenden Personen diktierte, und zwar in der gewöhnlichen Stärke der Unterhaltungsstimme a) durch ein sehr gut funktionierendes Telephon, b) ohne Vermittelung des Telephons. Bei einem solchen Telephonversuch mit einem 18jährigen Menschen ergab sich, wenn wir in den folgenden Brüchen die falsch perzipierten Laute in den Zähler, die gesamten Laute in den Nenner setzen, für die falsche Perzeption der einzelnen Laute folgendes Resultat: $b = \frac{11}{17}$, $d = \frac{3}{15}$, $g = \frac{4}{11}$, $p = \frac{7}{15}$, $t = \frac{6}{12}$, $k = \frac{4}{14}$, $m = \frac{5}{10}$, $n = \frac{4}{7}$, $ng = \frac{4}{5}$, $w = \frac{14}{18}$, $f = \frac{1}{13}$, $j = \frac{2}{8}$, $f = \frac{6}{10}$, $s = \frac{4}{10}$, *ch* (vorn) $= \frac{2}{5}$, $z = \frac{4}{10}$, *ch* (hinten) $= \frac{2}{5}$, $x = \frac{1}{5}$, *sch* $= \frac{5}{10}$, ' [2]) $= \frac{6}{13}$. Immer richtig wurden *l* und *r* perzipiert. Dentale wurden 52 mal, Labiale 15 mal, Gutturale 20 mal eingesetzt. Bei einer zweiten Person wurden im ganzen 78 Fehler gemacht. Dentale wurden 19 mal eingesetzt, besonders oft ist darunter das *t*,

[1]) In Scriptures Werk finde ich eine Untersuchungsreihe an Schulkindern angestellt von Wiltse mit den Worten: *fan*, *log*, *long*, *ken*, *dog*. Die Resultate der Untersuchungen sind den folgenden durchaus ähnlich.

[2]) Das Zeichen ' bedeutet den festen Stimmeinsatz.

Labiale 5 mal, Gutturale 14 mal. Stets richtig perzipiert wurden *ng*, *l* und *r*. Der Bruch:

$$\frac{\text{Nichtperzeption}}{\text{Gesamtzahl der Laute}}$$

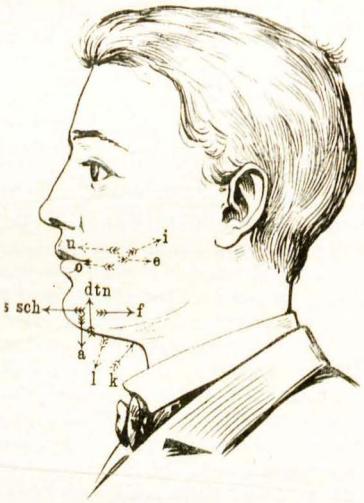
war bei $b = \frac{4}{17}$, $d = \frac{2}{15}$, $g = \frac{3}{11}$, $p = \frac{10}{15}$, $t = \frac{3}{12}$, $k = \frac{3}{14}$, $m = \frac{3}{10}$, $n = \frac{2}{7}$, $ng = \frac{0}{5}$, $l = \frac{0}{12}$, $r = \frac{0}{16}$, $w = \frac{8}{18}$, $s = \frac{4}{13}$, $j = \frac{2}{8}$, $f = \frac{7}{10}$, $ss = \frac{3}{10}$, *ch* (vorn) $= \frac{2}{5}$, *ch* (hinten) $= \frac{1}{5}$, $z = \frac{3}{10}$, $x = \frac{1}{5}$, *sch* $= \frac{1}{10}$, $h = \frac{5}{11}$, $' = \frac{7}{23}$.

Dabei muß ausdrücklich bemerkt werden, daß das Telephon das Gesprochene vorzüglich wiedergab, so daß Zwischenbemerkungen und Zwischenfragen immer ohne Wiederholung verstanden wurden. Die beiden benutzten Telephone befinden sich in zwei benachbarten Häusern meiner Klinik. Wenn nun auch individuelle Momente es mit sich brachten, daß die Resultate bei den verschiedenen Personen ziemlich verschieden ausfielen, so war eins doch typisch: bei dieser Prüfung mit sinnlosen Silben wurden als miteinander leicht verwechselbar folgende Konsonantengruppen gefunden: *p, t, k* — *b, d, g* — *sch, f, z, ss, x, ch* — *m, n, ng* — *w, s, j*. *R* und *l* wurden gewöhnlich richtig perzipiert. Der feste Stimmeinsatz wurde oft mit Verschlußlauten, der Hauch mit dem festen Stimmeinsatz oder auch mit den Tenues verwechselt. Die Fehler bei der Vokalperzeption sind auffallend gering. Auch die Diktierversuche ohne Telephon fielen, wenn auch nicht ganz so, doch in der allgemeinen Richtung ähnlich aus. Es zeigten sich auch hier die Konsonantenverwechselungen, die wir bei den Telephonversuchen fanden. Über die Einzelheiten dieser Versuche müssen die speziellen Arbeiten nachgelesen werden.

Unser zweites subjektives Beobachtungsinstrument ist das Auge. Auch das Gesicht hat in der Verfolgung der sprachlichen Bewegungen seine natürlichen Grenzen, was schon diese Bewegungen selbst anbetrifft. Denn wir werden naturgemäß nur diejenigen Bewegungen wahrnehmen können, die äußerlich leicht sichtbar sind. Machen wir eine Prüfung der äußerlich sichtbaren Sprachbewegungen, so finden wir drei Beobachtungsstellen: 1. am Unterkiefer, 2. an den Weichteilen der Wangen und Lippen und 3. am Mundboden. In der umstehenden Figur 74 habe ich die drei Beobachtungsstellen durch verschiedenartige Pfeile bezeichnet: einfache Linie, unterbrochene Linie und punktierte Linie. Es zeigt sich dabei, daß einer ganzen Anzahl von Lauten dieselbe Stellung, ja dieselbe Bewegung zukommt. So ist eine Bewegung

des Unterkiefers nach oben, ohne daß dabei gleichzeitig der Mund geschlossen wird, typisch für die Laute *d*, *t* und *n*. Tritt dazu ein Schluß der Lippen, so is es *b*, *p*, *m*. Geht der Unterkiefer nach vorn, so kann man dessen sicher sein, daß ein *s* gesprochen wurde. Gehen aber dabei gleichzeitig Lippen und Wangen nach vorn, so ist dies als *sch* zu deuten. Die Bewegung des Unterkiefers nach unten heißt *a*. Geht der Unterkiefer nach hinten, so entspricht dies der Bildung von *f* und *w*. Die Lippen-Wangen-Bewegungen zeigen sich bei *o*, bei *u* nach vorn, bei *e* nach hinten, bei *i* in der Richtung nach schräg-hinten-oben. Am Mundboden erkennen wir zwei wichtige Bewegungen. Eine Bewegung des vorderen Mundbodens nach unten bedeutet *l*, am Unterkieferhalswinkel nach oben entspricht der Aussprache von *g*, *k* und dem Nasallaut *ng*. Damit sind im wesentlichen alle Sprachbewegungen, die wir beim Sprechen leicht mit den Augen auffassen können, erschöpft.

Fig. 74.



Man erkennt daraus, daß die Perzeption des Gesprochenen durch das Auge nicht so sehr viel schlechter daran ist, als die durch das Ohr; denn wir sahen ja, daß auch beim Ohr Konsonanten miteinander verwechselt werden können, und wenn wir allein mit dem Auge beispielsweise ein gesprochenes Wort, wie das Wort „Baum“ verfolgen, so sehen wir, wie der Sprecher zunächst die Lippen aus irgend einer zufälligen Lage heraus energisch schließt oder, wenn er sie schon geschlossen hat, sie doch ein wenig energischer aufeinanderdrückt, daß er sie dann öffnet, in die *a*-Stellung übergeht, darauf schnell in die gerundete Form des Mundes bei *u* geht und die Lippen wieder schließt. Diese Bewegung kann nun „paum“ oder „baum“ oder „maum“ bedeuten, vielleicht auch „paup“ oder „baup“ oder „maup“. Die Entscheidung ist einfach; wir wählen unter den drei zur Auswahl stehenden Kombinationen das *b* am Anfang und das *m* am Schluß als das Wahrscheinlichste und wissen, daß der Sprecher „Baum“ sagte. Daß

der letzte Lippenschluß als *m* leicht erkannt wird, ist klar, wenn der Mund nach der Aussprache dieses Wortes geschlossen bleibt. Immerhin behalten wir, obgleich wir dieses Wort mit dem Auge allein leicht erkennen können, eine Auswahl zwischen drei Konsonanten, und daß wir den richtigen ohne weiteres wählen, verdanken wir einzig und allein der hierbei wie bei dem Gehör wirkenden „eklektischen Kombination".

Übrigens zeigt sich, daß es ebenso wie „Lautbilder" auch „Silbenbilder", „Wortbilder" und sogar „Satzbilder" gibt, die es bei genügendem Sprachumfang den Schwerhörigen und Ertaubten ermöglichen, oft mit erstaunlicher Geschicklichkeit die Worte vom Gesicht abzulesen (s. u.).

So viele Einschränkungen also auch die Zuverlässigkeit der akustischen und optischen Beobachtung hat, so vortrefflich wirken beide Beobachtungsmethoden miteinander kombiniert. Denn wenn wir mit Gehör und Gesicht sprachliche Phänomene beobachten, so sind wir naturgemäß Täuschungen viel seltener ausgesetzt.

Endlich besitzen wir noch ein drittes subjektives Untersuchungsmittel: Das Getast[1]). Wenn wir das Wort „Baum" nur mittels der Bewegungen der Sprachwerkzeuge, ohne die Stimme und ohne irgend ein Geräusch dabei hervorzurufen, ausführen, so wissen wir gleichwohl, daß wir „Baum" gesprochen haben, und zwar deswegen, weil wir unsere Lippensäume sich berühren fühlen, weil wir die Unterkieferbewegung des *a* empfinden, weil wir die Vorstülpung der Lippen empfinden und weil wir schließlich die Endberührung des Lippensaumes sowie das Nachlassen der Gaumensegelkontraktion wahrnehmen. Dieser gesamte Eindruck dabei ist offenbar zusammengesetzt aus Berührungsempfindungen, aus Lage-, Gelenk-, Druck- und Bewegungsempfindungen, kurz aus dem, was wir als „Muskelsinnempfindungen" bezeichnen. Nun ist die Bewegungs- und Lageempfindung des Unterkiefers zwar eine außerordentlich feine, ebenso haben wir ein sehr feines Tastgefühl an der Zungenspitze und am Lippensaum; sehr gering ist es bereits am Gaumen, wenngleich die Reflexerregbarkeit vom Gaumen aus recht groß ist. (Beide Erscheinungen haben eben offenbar nichts miteinander zu schaffen.) Unsere lokalisatorische Fähigkeit am Gaumen und am

[1]) Das gewöhnlich hierbei gebrauchte Wort „Gefühl" bleibt bei wissenschaftlichen Auseinandersetzungen wohl besser für die Gefühlstöne der Empfindungen und Vorstellungen vorbehalten.

Rachen sowie am Kehlkopf ist bereits außerordentlich gering, wie das jeder Hals- und Rachenarzt tagtäglich beweisen kann. Dagegen ist die Fähigkeit der Kontrolle unserer Muskelspannungen doch wenigstens in einigen Teilen unseres Sprachapparates recht genau. Daß sie bei der Stimme eine sehr große Genauigkeit erreicht, haben wir früher gesehen. Auch die Zungen- und Mundbodenbewegung ist sehr exakt abstufbar; denn die Pfeiftöne werden ja bekanntlich so gemacht, daß wir zwei Engen mit unserem Ansatzrohre herstellen, eine zwischen Zungenrücken und Gaumen und die zweite vorn am Lippensaum. Die verschiedenen Tonhöhen dieses so angeblasenen Hohlraumes werden dadurch erzeugt, daß der Zungenrücken zugleich mit dem Mundboden steigt und fällt. Steigt er in die Höhe, so wird der Ton höher; fällt er, so wird er tiefer. Man brauchte nur die Genauigkeit festzustellen, mit der ein Pfeifton von einem Menschen gehalten werden kann, um festzustellen, wie genau er imstande ist, seine Mundbodenmuskulatur einschließlich der Zunge zu bewegen. Daß auch diese Genauigkeit in der Muskelaktion eine sehr große ist, lehrt der einfache Versuch, eine Melodie zu pfeifen. Beobachtet man, während man dieses tut, das Muskelgefühl, das man im Zungenrücken besitzt, bzw. die verschiedenen Veränderungen der Berührungsfläche der Zunge mit den Seitenteilen des Mundes, so kann man sich von der Genauigkeit der Abstufungsmöglichkeiten überzeugen. Natürlich würde eine exakte Prüfung in ähnlicher Weise erfolgen müssen, wie Klünder und Hensen dies für die Genauigkeit der Stimme getan haben.

Wie gering gleichwohl die Geschicklichkeit unserer Zunge und besonders der Rachenteile ist, das sieht man am besten, wenn man Sprachlaute nachahmen will, die aus uns weit abliegenden Sprachen stammen, z. B. arabische Kehllaute. Die Nachahmung der Kehlverschlüsse der semitischen Sprachen gelingt nur selten jemandem gleich von vornherein; meist erreicht er sie erst nach längerer Übung, und viele sind gar nicht dazu imstande, sie nachzumachen. Mit dem Getast können wir aber in der Tat zunächst nur eine Beobachtung der sprachlichen Bewegungen anderer ausüben, wenn wir die von ihnen erzeugten Töne, so gut wie es geht, nachzumachen versuchen.

Eine zweite Art, das Getast anzuwenden, besteht darin, daß man durch Betasten der Sprachwerkzeuge des zu untersuchenden Sprechers nicht nur die Bewegungen, sondern auch die Vibrationen feststellt. So ist es leicht, eine stärkere Vibration der Brust bei Bruststimme und eine starke Resonanz des Kopfes bei der Falsettstimme wahrzunehmen. Es ist leicht, die Vibrationen der Nasenwände festzustellen, wenn Nasallaute ausgesprochen werden; auch kann man gewisse Unterschiede des Akzentes ev. auch an der stärkeren oder geringeren Vibration mittels des tastenden Fingers wahrnehmen. Schwerer ist es bereits, Tonhöhendifferenzen aufzufassen. Versuche darüber sind zuerst von mir angestellt worden. Die Fähigkeit, die Vibration einer Stimmgabel durch die tastende Haut wahrzunehmen, nennen wir mit einem nicht ganz einwandfreien Namen das „Vibrationsgefühl". Ich habe nun untersucht, in welchen Grenzen man imstande ist, die zeitliche Aufeinanderfolge der Vibrationen verschiedener Tonhöhe voneinander zu unterscheiden, und bin nach längeren Versuchen, die aus verschiedenen Gründen nicht mit der wünschenswerten Feinheit der Abstufung durchgeführt werden konnten, doch zu dem Resultate gelangt, daß man einen ganzen Ton Vibrationsunterschied mit dem tastenden Finger sehr wohl unterscheiden kann. Wenn also eine Stimmgabel *A* und eine Stimmgabel *H* abwechselnd ihre Schwingungen mittels eines geeigneten Übertragungsmittels, beispielsweise mittels Luftübertragung, dem tastenden Finger zuleiteten, und bald der eine bald der andere der zuleitenden Schläuche unterbrochen würde, so würde man feststellen können, daß die Vibration *A* von der Vibration *H* richtig unterschieden wird. Das hat natürlich Bedeutung für die Entwickelung der Sprache der Schwerhörigen und Taubstummen, ist aber auch nicht unwesentlich bei der Untersuchung sprachlicher Phänomene Hörender.

Wir sehen so, daß wir uns auf die drei subjektiven Untersuchungsmittel nur mit einer gewissen Beschränkung verlassen können, und werden uns nicht wundern dürfen, wenn bei der alleinigen Anwendung dieser subjektiven Untersuchungsmethoden dem Phonetiker mannigfache Irrtümer unterlaufen. Immerhin sind diese Methoden von einem ganz erstaunlichen Erfolge begleitet worden; denn selbst sehr exakte Nachprüfungen gewisser

Bewegungsveränderungen und -stellungen des Ansatzrohres mittels objektiver Methoden haben in so häufigen Fällen die Richtigkeit der vorher durch subjektive Methoden gewonnenen Resultate gezeigt, daß man andererseits sich sehr wohl hüten soll, ihren Wert zu unterschätzen. Vor allen Dingen zeigt es sich, daß individuell außerordentliche Unterschiede vorkommen. Wer z. B. je Gelegenheit gehabt hat, die ausgezeichnete Beobachtungs- und Nachahmungsfähigkeit unseres vortrefflichen Phonetikers Sievers zu bewundern, der wird zugestehen müssen, daß ein derartiger Untersucher erheblich weiter mit den einfachen subjektiven Methoden kommen kann als ein unvorsichtiger junger Phonetiker, der die graphischen Methoden wahllos und ohne genügende Kontrolle der fälschenden Einflüsse anwendet. Es ist deshalb für den experimentellen Phonetiker unter allen Umständen zu empfehlen, daß er nicht allein sein Gehör, sondern auch sein Gesicht und sein Getast einer sorgsamen Schulung unterwirft. Er wird sich auf diese Weise Instrumente heranbilden, die in ihrer Feinheit Wunderbares zu leisten imstande sind und den großen Vorzug besitzen, daß er sie stets bei sich trägt. Wie man an sich selbst eine derartige phonetische Schulung vornehmen soll, hat Klinghardt in sehr hübscher Weise dargestellt; auch verweise ich auf die betreffenden Kapitel bei Rousselot, Jesperson u. a.

Wir dürfen nicht vergessen, einige Instrumente zu erwähnen, die zur Verfeinerung der subjektiven Untersuchungsmethoden der Sprechbewegungen dienen. Das Auge wird in der unmittelbaren Beobachtung nur wenig unterstützt werden können, höchstens durch ein Fernglas, wenn es sich darum handelt, weiter Abstehende in ihren sprachlichen Bewegungen zu verfolgen, was wir ja mit gutem Erfolg oft genug im Theater zu probieren Gelegenheit haben. Dem Ohr können wir dagegen seine Aufgabe durch geeignete Instrumente sehr erleichtern. So ist die Benutzung des ärztlichen Stethoskops zur Beobachtung der verschiedenen Geräusche des Kehlkopfes oder der Klänge der eigentümlichen Vibrationsveränderungen, -verstärkungen, -abschwächungen an der Seite des Halses eine große Erleichterung. Ich pflege gewöhnlich zu derartigen Auskultationen des Sprechapparates das kleine Schlauchstethoskop zu benutzen (bei jedem ärztlichen Instrumentenhändler für etwa 3 ℳ

zu beziehen). Es ist überraschend, zu konstatieren, wie selbst die kleinsten Kehlkopfgeräusche, so besonders selbst der leiseste Coup de glotte, durch dieses Instrument gehört werden kann, wenn man es auf den Schildknorpel seitlich aufsetzt. Vor der Benutzung des Mikrophons zur Verstärkung des Hörens gewisser Geräusche kann ich nur warnen; Versuche, die ich selbst damit angestellt habe, zeigen, daß das Mikrophon auch andere, fremde, nicht zur Beobachtung gehörende Geräusche so kolossal verstärkt — wenn es überhaupt so fein eingestellt ist, wie man es braucht — daß man aus dem Wirrwarr der Geräusche das richtige nicht heraus erkennen kann. So gibt schon eine leichte Bewegung der Haut oder der Kleidung Geräusche.

Die Feinheit des Tastens kann kaum verstärkt werden; wenigstens kenne ich kein Instrument, das die Vibrationen auch in ihren Intensitätsunterschieden so fein wiederzugeben imstande ist, wie wir sie selbst mittels der Kuppe unseres Zeigefingers empfinden.

b) Analyse der Sprachbewegung durch registrierende Instrumente.

1. Akustische Registrierung. Diese haben wir oben bereits genauer kennen gelernt. In bezug auf das Ansatzrohr könnte nur noch nachgetragen werden, daß auch die Grenzen der Vibrationen durch akustische Registrierung festgestellt werden können. Hierbei kann nun in der Tat ein Mikrophon große Dienste leisten, wenn seine Konstruktion dem Zwecke einigermaßen angepaßt ist. Die Registrierung der Kehlkopfvibrationen geschieht, wie schon früher bemerkt, mit dem Krüger-Wirthschen oder mit dem Marbeschen Apparat.

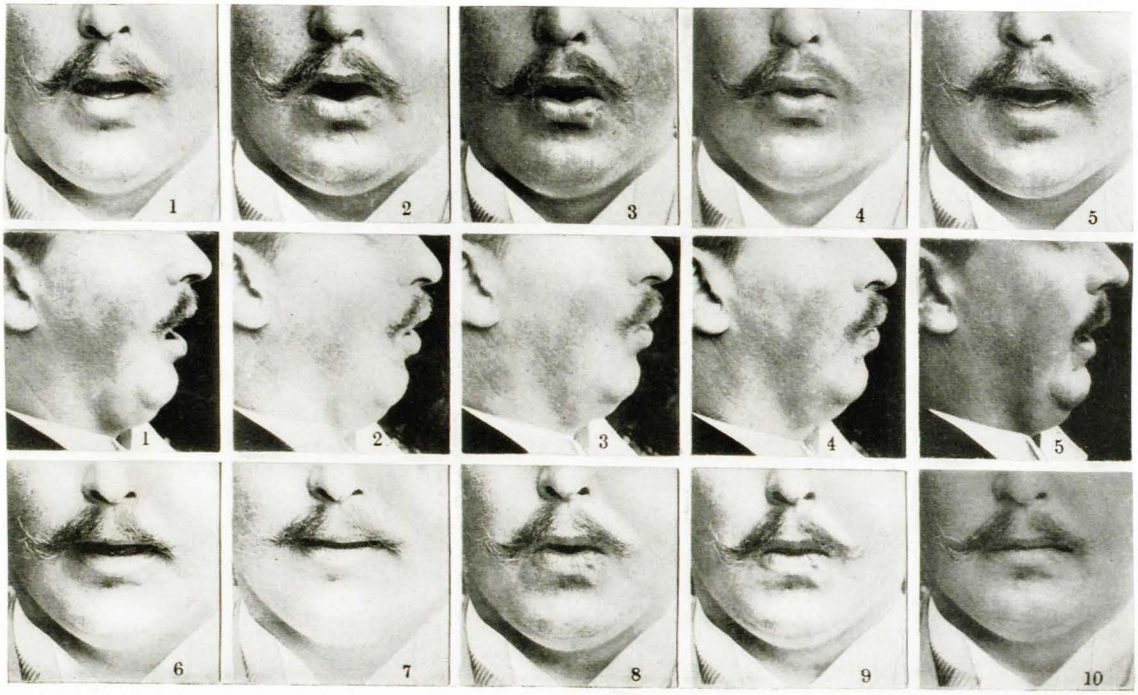
2. Optische Registrierung. Die Verwendung der Photographie ist zuerst von Marey in Gemeinschaft mit Demeny im Jahre 1891 hierbei benutzt worden. Er ließ einen Satz langsam sprechen und nahm in dieser Zeit Photographien von der sprechenden Person auf. Reihte man diese Aufnahmen in derselben Weise in irgend einen stroboskopischen Apparat ein, so vermochten Taubstumme, die geübt waren, vom Munde abzulesen, die Worte zu erkennen. Die Verwendung der Momentphotographie für das Herausphotographieren charakteristischer Sprach-

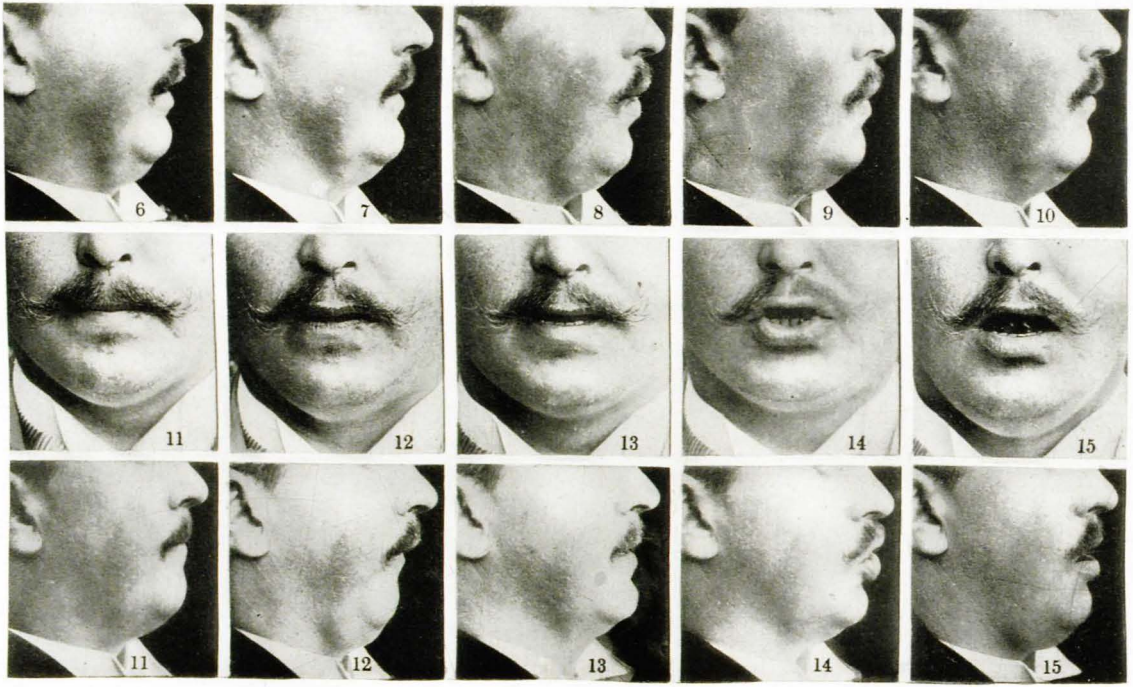
stellungen ist übrigens auch sonst oft erfolgt; so hat sie besonders Felix Hément angewendet. Ich selbst habe zahlreiche Versuche mit der Momentphotographie und auch mit der Serienphotographie gemacht, und es gelang mir im Jahre 1895, eine Anzahl von Typen der äußerlich sichtbaren Stellungen des Ansatzrohres herzustellen, deren verschiedenartige Vereinigung in einem Stroboskop es gestattete, alle möglichen Worte und kleine Sätzchen so zur Anschauung zu bringen, daß sie ein geübter Taubstummer ohne weiteres im Stroboskop ablesen konnte. Daß die Anzahl dieser Typen kleiner war als die Zahl der Buchstaben des Alphabets, geht schon aus den obigen Auseinandersetzungen (man sehe Fig. 74) hervor. Die hierbei folgenden Bilder mögen eine Anschauung von den gewonnenen Sprechtypen geben (s. Fig. 75).

Nach der Erfindung der Röntgenstrahlen wurde sogleich auch das Röntgenverfahren benutzt, um die Stellungen und Bewegungen des Ansatzrohres zunächst zu beobachten, und Scheier hat, wie ich mich selbst überzeugen konnte, am Röntgenschirm die Bewegungen der Zunge und des Gaumensegels richtig verfolgen können; später gelang es, die Röntgenphotographie dazu zu verwerten. Daß die Scheierschen Beobachtungen zum Teil nicht bestätigt wurden (z. B. von Jesperson und Mygge), liegt wohl daran, daß diese Untersucher vorwiegend Stellungen auf dem Schirm zu sehen versuchten, während Scheier Bewegungen aufzufassen sich bemühte. Es ist aber stets viel leichter, eine Bewegung auf dem Schirm zu verfolgen als eine ruhende Stellung. So ist es, wie ich mich sehr oft zu überzeugen Gelegenheit hatte, beim Sprechen der Vokale zum Beispiel sehr leicht, den bewegten Schatten des Gaumensegels auf dem fluoreszierenden Schirm zu erkennen, während bei unbewegter Stellung das fast eine Unmöglichkeit ist. Es kommt also ganz darauf an, wie man diese Versuche anstellt.

Zu einer besseren Verwertung der Röntgenuntersuchung gelangte E. A. Meyer durch die Photographie des Röntgenbildes. Er versuchte zunächst, die Mittellinie der Zunge deutlicher zu machen, indem er eine breiartige Mischung von Eisenpulver und Syndetikon auftrug, er erhielt aber keine genügenden Resultate. Nach vielen Versuchen kam er zur Anwendung einer Kette aus Bleiplättchen, die etwa 4 mm lang, 1,5 mm breit und 0,6 mm dick waren. Sie wurden in der Weise hergestellt, daß ein etwa 1,3 mm

Fig. 75 zu S. 142.



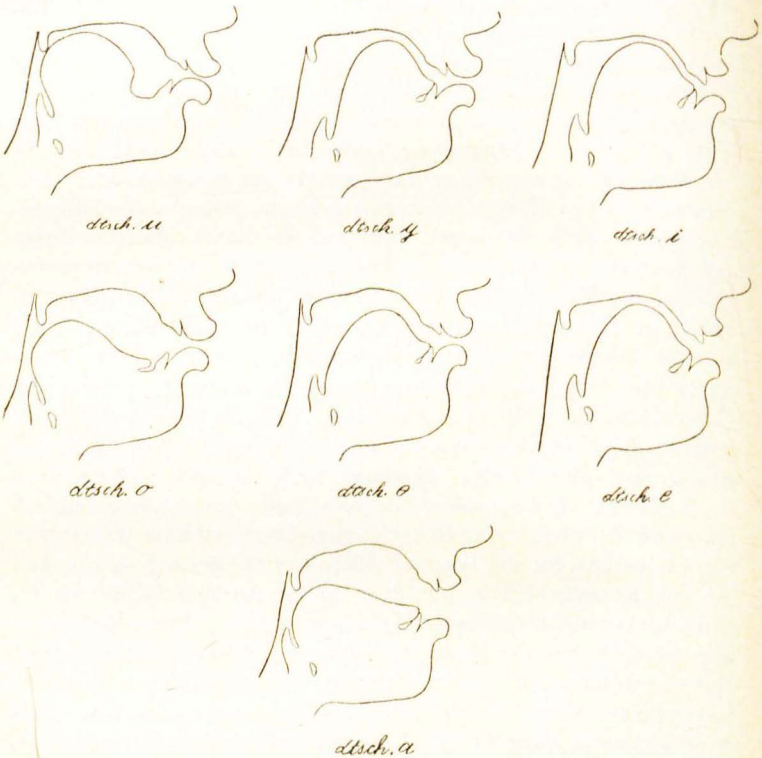


Sprechlauttypen: 1) *a*. 2) *ã*. 3) *o*. 4) *u*. 5) *ɛ̃*. 6) *e*. 7) *i*. 8) *ö*. 9) *ü*. 10) *b* und *p*. 11) *m*. 12) *f* und *w*. 13) *s* und *ss*. 14) *sch* und französ. *j*. 15) *l*.

Gutzmann, Physiologie der Stimme und Sprache. Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

formis steckte. Auf diese Weise wurde das Kettchen, dessen anderes Ende zum Munde vorn heraus hing, straff gezogen. Auch die Lage des Gaumensegels suchte E. Barth sichtbar zu machen durch ein ähnliches Metallkettchen, aber ohne Kugel, das er durch die Nase hindurch auf die Oberfläche des Gaumens legte.

Fig. 76 a.



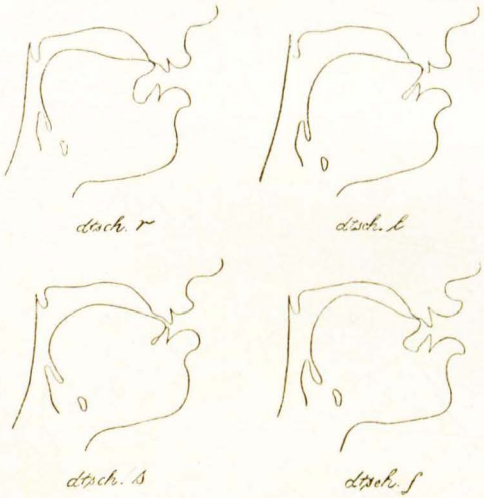
Lautbilder für die Vokale *u, ü, i, o, ö, e, a* in norddeutscher Aussprache.

E. A. Meyer wendet gegen das E. Barthsche Verfahren ein, daß die massive Metallkette gewöhnlich brückenartig die ev. bei der Zunge entstehenden beiden Hebungen überspannt, so daß die dazwischen liegende Senkung in der Lagerung der Kette nicht zum Ausdruck kommt und ein zum Teil falsches Artikula-

tionsbild zustande bringt. Er ist der Meinung, daß sowohl sein Zungenkettchen wie der Gaumenstreifen gegenüber dem E. Barthschen Verfahren Vorzüge hat.

Die Röntgenphotographie wurde auch von L. P. Eijkman zur Fixierung der phonischen wie der Schluckbewegungen des Kehlkopfes verwandt. Eijkman studierte auf diese Weise die Stellungen des Kehlkopfes bei den verschiedenen Tonhöhen und Vokalen. Endlich hat in neuerer Zeit, wie schon oben einmal

Fig. 76 b.



Lautbilder für die Konsonanten *r*, *l*, *s*, *sch* in norddeutscher Aussprache.

erwähnt, J. Möller zum Studium der Unterschiede der Brust- und Falsettstimme die Röntgographie verwandt.

3. Direkte Meßmethoden. Diese sind mehrfach angewendet worden, so von Grandgent, der die Entfernung einzelner Punkte der Zunge und des weichen Gaumens von einem anderen festen Punkte mittels in den Mund eingeführter Maßstäbe zu bestimmen suchte. Auf Grund dieser Messungen konstruierte er dann Sagittaldurchschnitte durch die Mundhöhle. E. A. Meyer macht mit Recht den Einwand, daß es unmöglich ist, ohne starke Behinderung des Sprechenden bei Lauten mit

größerer Vorderzungenbewegung derartig große Maßstäbe in den Mund einzuführen. Deswegen hat H. W. Atkinson einen Meßapparat konstruiert, der aus einem gebogenen, in einer schmalen Hülse verschiebbaren Stahldraht besteht. Die Hülse kann durch einfache Vorrichtung verschieden hoch an die oberen Schneidezähne und den Zahndamm angelegt werden. Dann wird der Stahldraht so weit aus der Hülse geschoben, bis er die in die Stellung für einen bestimmten Laut gebrachte Zunge berührt. Sodann wird der Apparat an einen Profilriß des durch einen plastischen Abdruck gewonnenen harten Gaumens in genau entsprechender Weise angelegt und der Endpunkt des Stahldrahtes sodann abgetragen. So werden nacheinander verschiedene Punkte der Zunge und des weichen Gaumens bestimmt, auf der Zeichnung fixiert, miteinander verbunden und geben schließlich ein Bild von der Formation des Ansatzrohres bei der Artikulation eines bestimmten Lautes.

In ähnlicher Weise verfuhr F. Stolze, der einen festen Bügel an die Mittellinie des Gaumens legte und an einem beweglichen Bügel die Berührungsstellen der Zungenmittellinie bestimmte.

Alle derartigen Meßmethoden, die darauf beruhen, daß man Instrumente in das Innere des Mundes führt, sind mehr oder weniger mißlich. Sowie man über den „Zaun der Zähne“ in das Innere gelangt, ist man den Einflüssen der Reflexe, die selbst bei gut eingeübten Versuchspersonen mehr oder weniger hindern können, ausgesetzt, und trotz der geringen Gewichte, die beispielsweise die Bleikettchen E. A. Meyers und E. Barths tragen, ist diese reflektorische Beeinflussung nicht ganz auszuschalten. Dies gilt auch für alle folgenden noch zu besprechenden Instrumente und Versuchsanordnungen, z. B. Rousselots „Ampoules“.

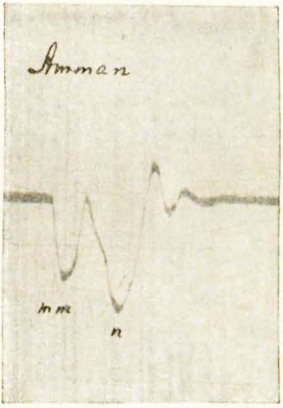
c) Anwendung der Registrierung auf die einzelnen Bewegungen.

1. Luftbewegung der Artikulation. Gehen wir nun die einzelnen Instrumente der Reihe nach durch, so haben wir die für die Aufnahme der Atmung nötigen Apparate bereits früher besprochen. Es mag hervorgehoben sein, daß zur Aufzeichnung des Luftdruckes beim Sprechen auch für die Untersuchung der

einzelnen Laute, d. h. Funktionen des Ansatzrohres, der Atemvolumschreiber sehr gute Dienste leistet, besonders wenn man ihn so konstruieren läßt, daß er kleine Volumina mit großen in Gradschreibung gegebenen Kurven aufzeichnet (Gutzmann-Wethlo).

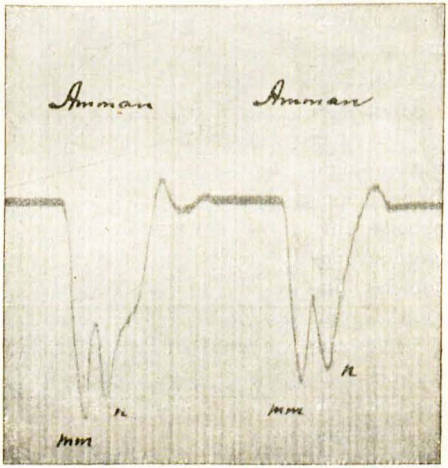
Ein anderes Verfahren, das Atemvolumen zu bestimmen, hat Zwaardemaker beschrieben. Er benutzt 1. eine innerhalb eines vertikalen Glasrohres zwischen zwei Metallfedern aufgehängte Aluminiumscheibe, welche dem Luftstrome in ausgiebigem Maße folgt (federnde Windfahne). Wenn der Apparat zuvor mit Hilfe einer Gasuhr empirisch geeicht worden ist, so läßt sich aus den Ausschlägen der Scheibe die Geschwindigkeit des Luftstromes in den einander folgenden Momenten entnehmen (Aerodromometer); 2. ein photographisches Chassis, in welchem durch einen genau gearbeiteten, durch leichte Räder über Schienen geführten Schlitten eine empfindliche Platte hinter einer feinen Metallspalte vorbeigeführt wird. Bei der Aufstellung der Apparate steht das Aerodromometer unmittelbar vor der Spalte, und irgend eine starke Lichtquelle wirft aus einer Entfernung von $^1/_2$ bis 2 m einen scharfen punktartigen Schatten der Windfahne auf die empfindliche Platte. Wenn die Windfahne während des Versuches auf und ab geht, folgt ihr der Schatten und zeichnet auf der vorübergeführten empfindlichen Platte. Die Figg. 77 und 78 geben die Aufzeichnungen des Wortes „Amman“, einmal in Konversationssprache, das andere Mal zweimal wiederholt in Flüstersprache. Das „Aerodromometer“ war mit der rechten Nasenöffnung der Versuchsperson verbunden. Der dicke horizontale Strich entspricht dem Ruhestande der Windfahne, die zwei Täler den nasalen Ausschlägen, also das erste dem Doppel-*m*, das zweite dem *n*. Die Luftmasse ist deutlich verschieden groß; man kann sie genau messen, wenn man die Abszissen der Talwellen in Millimeter teilt und mit einer einfachen Millimeterskala bei jedem Teilstrich die

Fig. 77.



Ordinatenhöhe bestimmt. Aus diesen Zahlen wird der Durchschnitt berechnet, und die Eichungstabelle gibt die dieser Zahl entsprechende Strömungsgeschwindigkeit an. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit, multipliziert mit der Dauer der Talwelle, ergibt ohne weiteres die ausgeströmte Luftmenge. In dem hier abgebildeten Falle bewegte sich die Platte mit einer Geschwindigkeit von 15 mm pro Sekunde. Beim laut gesprochenen „Amman" betrug die Ausströmung der Luft für die erste und zweite Talwelle 0,33 und 0,50 Sekunden, beim ersten, geflüstert gesprochenen „Amman" 0,27 und 0,53 Sekunden, beim zweiten 0,27 und 0,47 Sekunden. Die ausfließende Luftmenge betrug bei dem laut gesprochenen 7 bzw. 12 ccm, bei dem ersten flüsternd gesprochenen 11 bzw. 19, beim zweiten 10 bzw. 15 ccm. Zwaardemaker macht bei dieser Gelegenheit darauf aufmerksam, daß zwischen der Menge bzw. der Geschwindigkeit der ausgeströmten Luft und der Tragkraft der Stimme bei diesem Versuche offenbar gar keine Beziehung besteht. Wie die Kontrollversuche ergeben, folgt die Windfahne den Bewegungsrichtungen des Luftstromes in ausgezeichneter Weise, so daß diese Zwaardemakersche Anordnung, wie ich mich in eigenen vielfachen Untersuchungen überzeugt habe, recht gut mit Erfolg verwendet werden kann.

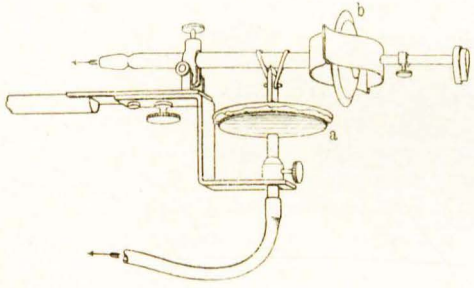
Fig. 78.



2. Kehlkopfbewegungen. Wenn wir nun das Ansatzrohr von seiner untersten bis zur obersten Stelle hin durchgehen und die einzelnen Teile auf ihre Registriermöglichkeit untersuchen, so beginnen wir naturgemäß wieder mit dem Kehlkopf selbst. Die Bewegungen des Kehlkopfes sind in verschiedener Weise

graphisch zu registrieren. Wir besitzen eine größere Zahl von Laryngographen, unter denen ich die von Piltan, von Rousselot, von Zünd-Burguet, von v. Krzywicki nur kurz erwähnen will. Ich selbst habe mich in einer Reihe meiner Arbeiten der Brondgeestschen Kapsel bedient, die ich mit ihrer ausgebuchteten Kautschukfläche schräg dem Schildknorpel gegenüber durch ein Halsband fixierte. Die Bewegungen, die der Adamsapfel nach oben und nach unten macht, übertragen sich in entsprechender Weise auf die ausgebauchte Brondgeestsche Kapsel und werden von hier durch Luftübertragung auf eine Schreibkapsel übermittelt. Allerdings werden auf diese Weise auch die Vor- und Rückwärtsbewegungen des Kehlkopfes aufgezeichnet; diese sind aber in der Regel so minimal, daß sie wenig oder gar

Fig. 79.



nicht in Betracht kommen. Der vollkommenste Apparat für die Registrierung der Kehlkopfbewegungen stammt von Zwaardemaker. Zwaardemaker zeichnet mit seinem Apparat sowohl die vertikale wie die sagittale Bewegung des Kehlkopfes. Die vertikale wird mittels eines auf dem Schildknorpel ruhenden Konus auf eine mit Gummimembran überzogene Kapsel (a) übertragen, während die horizontale Bewegung in den den Konus übertragenden Hebelarm mittels zweier Federn eingeschaltet wird (b). Die Figur zeigt die Anordnung dieses Apparates deutlich. Überzieht man den hohlen kleinen Konus mit einer Gummimembran, und verbindet man den Hohlraum der so entstehenden kleinen Kapsel mit einem Krüger-Wirthschen Kehltonschreiber, so kann man gleichzeitig mit den Bewegungen des Kehlkopfes auch die Stimme aufnotieren.

Es ist nicht unwesentlich, die mehr oder weniger große Exaktheit der so die Kehlkopfbewegung aufschreibenden Apparate auch gleichzeitig durch die einfachen Untersuchungsmittel, durch das Gesicht und das Getast, zu kontrollieren. Die Kontrolle durch das Auge, die Inspektion, läßt sich beim Manne sehr leicht ausüben, wenn man den Schatten des Kehlkopfes beim Sprechen verfolgt. Daß man damit sehr wichtige Resultate erzielen kann, hat Garcia bewiesen, der in dieser Weise die Kehlkopfstellungen exakt beobachtete, die hohe Lage des Kehlkopfes beim hellen Timbre, die tiefe Lage desselben beim dunkeln Timbre feststellte und anderes mehr. Ich habe zur besseren Ausführung der Inspektion eine Verbindung mit objektiver Messung erstrebt, indem ich den Ruhestand der Cartilago thyreoidea mittels eines dermatographischen Stiftes mit einem kleinen horizontalen Strich vorn am Halse bezeichnete und von diesem Nullstriche aus nach oben und nach unten in 5 mm Abstand kleine Striche anbrachte. Wenn man so verfährt und dafür sorgt, daß durch einen Spiegel Licht schräg von unten her gegen den Kehlkopf reflektiert wird, so daß die leicht prominente Cartilago thyreoidea einen mehr oder weniger scharfen Schatten nach oben wirft, so vermag man mit dem bloßen Auge den Bewegungen des Schildknorpels leicht zu folgen und gleichzeitig, ohne daß man die Hand an den Kehlkopf zu legen braucht, das Maß der Bewegung festzustellen, allerdings nur mit einer Genauigkeit von 5 mm.

Auch die Palpation, das Befühlen des Kehlkopfes, ist sehr gut für phonetische Untersuchungen zu verwerten; nur darf man diese Palpationen nicht einfach so ausführen, daß man die Fingerkuppe in die obere Inzisur der Cartilago thyreoidea hineindrückt, weil man auf diese Weise sowohl den Kehlkopf aus der Lage drängt, als auch selbst keinen Stützpunkt für das Fühlen gewinnt. Nach vielfachen Versuchen bin ich dazu gekommen, zwei Verfahren für die Palpation des Kehlkopfes vorzuschlagen: a) Man legt die Beere des Zeigefingers auf die obere Inzisur des Schildknorpels leicht auf, während die übrige Hand auf eine von einem festen, eisernen Stativ ausgehende Unterlage gestützt wird. Läßt man den Finger nun passiv seiner Schwere nach auf dieser Inzisur ruhen, so wird er mit dem Schildknorpel gehoben oder gesenkt. Diese Bewegungen werden entweder im ersten Phalangealgelenk (Fingergelenk) oder im Metacarpo-Phalangealgelenk (Mittelhand-

fingergelenk) oder auch in beiden gespürt. Im Metacarpo-Phalangealgelenk beträgt der Schwellenwert der Gelenkempfindungen 0,3 bis 0,4°. Wenn der Zeigefinger eine ungefähre Länge von 10 cm hat, so würde der Umfang des Kreises, in dessen Peripherie sich die Spitze des Fingers bewegt, $20\,\pi$, d. h. 20×22 cm sein. Dieser Umfang entspricht 360°, daraus folgt, daß 1 cm der Bewegung um ungefähr 6°, 1 mm also ungefähr 0,6° entspricht. Man kann demnach, da bei 1 mm die untere Grenze der Unterschiedsempfindlichkeit für die Bewegung noch nicht erreicht wird, sagen, daß bei dieser Art der Palpation 1 mm Kehlkopfbewegung noch sicher wahrgenommen wird, wenn man bei fixierter Hand mit dem proximalsten Gelenk des Zeigefingers palpiert. b) Andererseits kann man die Palpation auch ausführen, wenn man von hinten her die inneren Fingerflächen der leicht gekrümmten Hand auf die Vorderfläche des Halses legt, so daß der Außenrand des Zeigefingers ungefähr am Unterkieferhalswinkel des zu Untersuchenden sich befindet, d. h. an einer Stelle, wo der Unterkiefer in seinen sprachlichen Bewegungen nicht gehindert wird. Dann fühlt man den Schildknorpel über die tastende volare Fingerfläche bei seinen Bewegungen nach auf- und abwärts hinweggleiten und hat den Vorzug, daß man acht wohl unterscheidbare Marken für dieses Gleitgefühl besitzt, nämlich je zwei Ränder der vier Finger. Man kann so zweifellos bei ruhiger Untersuchung exakt unterscheiden, ob sich der Schildknorpel mehr am unteren oder mehr am oberen Rande der Innenfläche des fünften, vierten, dritten bzw. zweiten Fingers befindet.

Macht man die Untersuchungen des Kehlkopfes nun sowohl durch die Inspektion wie Palpation und vergleicht die so gewonnenen Resultate miteinander, so werden hierbei gewöhnlich wenig Unterschiede vorkommen; gewöhnlich, nicht immer. Denn es gibt Personen, die auch schon durch die Palpation in ihren Bewegungen irritiert werden. Vergleicht man aber die so gewonnenen Resultate mit der graphischen Untersuchung durch den Zwaardemakerschen Apparat, so erkennt man, daß der Apparat den Bewegungen des Kehlkopfes durchaus nicht überallhin folgt, besonders exzessivere Bewegungen werden von ihm nicht richtig angegeben. Man sieht auch hier, daß die subjektiven Methoden immer wieder herangezogen werden müssen, um Untersuchungsresultate zu kontrollieren.

Was nun die Resultate der Untersuchung der Kehlkopfbewegungen bei normalen Sprechvorgängen angeht, so verweise ich auf eine erst kürzlich erschienene ausführliche Arbeit von mir selbst, deren Resultate kurz folgende sind:

Die größten Bewegungsbreiten des Kehlkopfes liegen in der vertikalen Richtung, die sagittale Bewegung nach vorn und hinten ist selbst bei starken Bewegungen des ganzen Organes immer sehr gering und beträgt höchstens 2 mm. Man kann diese Bewegungen daher meist vernachlässigen, wenn es sich um sehr große Ausschläge des Kehlkopfes überhaupt handelt; dagegen sind sie bei der Untersuchung der ruhigen Sprechvorgänge unter normalen Verhältnissen von Wichtigkeit.

Bei der Ruheatmung ist unter normalen Verhältnissen die Bewegung des Kehlkopfes in beiden Richtungen nahezu gleich Null, bei tiefer Ein- bzw. Ausatmung sinkt bzw. steigt der Kehlkopf merklich.

Art, Höhe und Stärke der Stimmeinsätze haben, wenn man die Prüfung ohne Artikulationsbewegungen vornimmt, in der gewöhnlichen Sprechtonhöhe und -stärke nur sehr geringen Einfluß auf die Kehlkopfstellung.

Energische Artikulationsbewegungen ohne Lautproduktion, wie Öffnungsbewegungen des Mundes, Bewegungen des Unterkiefers nach vorn und hinten, Zungenbewegungen usw., üben einen merklichen Einfluß auf den Kehlkopfstand aus. Der Kehlkopf wird dabei rein passiv von den Artikulationsorganen mitbewegt.

Die Vokale haben nur einen geringen Einfluß auf die Stellung des Kehlkopfes. Die Veränderungen des Kehlkopfstandes geschehen in derselben Richtung wie die zur Aussprache der einzelnen Vokale notwendigen Artikulationsbewegungen. Die Artikulationen ruhig gesprochener Konsonanten haben nur geringen Einfluß auf die Kehlkopfstellung, und zwar im Verhältnis mehr auf die sagittale als auf die vertikale Bewegung. Nur diejenigen Laute, welche starke Zungenbewegungen erfordern (*k*, *l*), rufen größere Vertikalbewegungen hervor.

Die Untersuchungen der Kehlkopfbewegungen beim Gesange sind in verschiedener Weise von verschiedenen Autoren ausgeführt worden. Ich gebe nebenstehend zunächst die Resultate der Messungen von Harless und Merkel nebeneinander gestellt wieder. Harless fand bei einem 21jährigen Tenorsänger das *a*

20 mm unterhalb des mittleren Standes des Kehlkopfes. Von hier an stieg der Kehlkopf mit jeder Tonstufe der C-Dur-Tonleiter um 3 bis 4 mm, so daß er bei c' 14 mm unterhalb des Nullpunktes stand; bei d' sprang er auf 6 mm oberhalb des Nullpunktes und stieg dann bis zum a' um je 3 bis 4 mm. Der Kehlkopf machte also zwischen c' und d' einen Sprung von 20 mm, offenbar den bekannten Sprung zwischen Brust- und Falsettregister, ein Zeichen dafür, daß jener Sänger noch nicht fertig ausgebildet war. Auch

	Harless	Merkel
F	—	— 21 mm (— 9‴)
G	—	— 19 „
A	—	— 17 „
H	—	— 15 „
c	—	— 14 „
d	—	— 12 „
e	—	— 10 „
f	—	— 9 „ (= — 4‴)
g	—	— 7 „
a	— 20 mm	— 5 „
h	— 17 „	— 3 „
c'	— 14 „	0 „ (Nullpunkt des Kehlkopfes)
d'	+ 6 „	+ 9 mm
e'	+ 9 „	+ 11 „ (= + 5‴)
f'	+ 12 „	—
g'	+ 16 „	—
a'	+ 20 „	—

bei Merkels Skala zeigt sich deutlich ein Sprung zwischen c' und d'. Auch die Merkelsche Tabelle über die drei verschiedenen phonischen Kehlkopfstände bei den in verschiedener Weise hervorgebrachten Gesangstönen möchte ich wiedergeben, wobei ich die Skala der Pariser Linien der besseren Vergleichbarkeit wegen in Millimeterskala umgewandelt habe.

Merkel kam, wie man sieht, zu dem Resultat, daß der Kehlkopf mit zunehmender Höhe steigt, mit zunehmender Tiefe wieder fällt. Übrigens beobachtete auch er schon, daß beim hohen Ton

Merkels Tabelle.

Skala des Kehlkopfes in mm	Töne bei geschlossenem Munde				Töne bei offenem Munde			
	Freie Bewegung	Beschränkte Bewegung	Erweiterte Bewegung		Dunkles Timbre		Helles Timbre	
26	—	—	*d'—dis'*		—	—	*e'* (schwierig)	
24	—	—	*d'*		—	—	*d'—es'*	
22	—	—	*h—c'*		—	—	*c'—cis'*	
20	—	—	*f—a O*		—	—	*h*	
18	—	—	*d—e*		—	—	*b*	
15	—	—	*cis*		—	—	*a*	
13	*c'*	—	—		—	—	*g*	
11	*h*	—	*c*		—	—	*f O*	
9	*g—a*	—	—		*d'*	—	*es* (*c* piano)	
7	*c—f*	—	*H*		*h—c'*	—	*cis*	
4	*c—d*	—	—	*B*	*g—b*	—	*H—c*	
2	*H*	—	*B*	*A*	*e—fis*	—	*A* (*c mf*)	
⊙ 0	*O A*	—	*A*	*G—Fis*	*d*	—	*G* (*c mf*)	
2	*Gis*	—	*Gis*	*F*	*c*	—	*F*	
4	*G*	—	*G*	*E*	*O B*	—	*E*	
7	*Fis*	—	*Fis*	*D*	*G—A*	—	*D*	
9	*F*	—	*F*	*C*	*Fis*	—	*C—H'*	
11	—	—	—	*H'*	*F*	—	—	
13	—	—	—		*E*	*F*	*e'—f'*	—
15	*E*	*cis'*	*E*		*Es*	*E*	*c'—d'*	—
18	—	*a—h*	—		*D*	*E*	*a—h*	—
20	—	*c—g*	—		—	—	*c—g*	—
22	*Dis*	*O A—H*	*Dis*		—	*Dis*	*O A—H*	—
24	—	*Fis—G*	—		—	—	*Fis—G*	—
26	*D*	*E—D*	*D*		—	*D*	*E*	—

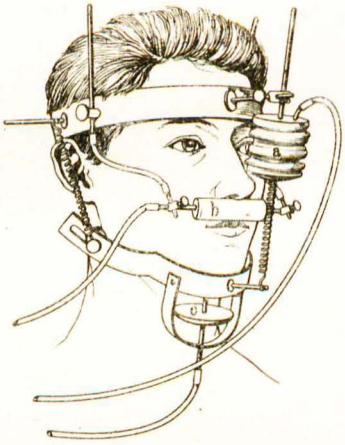
manchmal der sonderbare Fall eintreten konnte, daß der Kehlkopf nicht nur gar nicht stieg, sondern um ein bis zwei Linien fiel. Im Gegensatz zu der Annahme, daß der Kehlkopf beim Gesange proportional der Tonhöhe auf und ab steigt, stehen die Ergebnisse besonders von E. Barth, der „bei geschulten Sängern und Sängerinnen“ feststellte, daß „gerade der umgekehrte Bewegungsmodus eintrete, d. h. daß mit ansteigender Tonhöhe der Kehlkopf tiefer tritt und umgekehrt, daß er also beim tiefsten Ton seinen

höchsten, beim höchsten Ton seinen tiefsten Stand inne hat". E. Barth zeichnete mit dem Zwaardemakerschen Laryngographen, und zwar zeichnete er nur den Kehlkopfstand auf. Will man aber den Kehlkopfstand richtig beurteilen, so tut man gut, gleichzeitig auch die Bewegungen der Wandung des oberen Ansatzrohres aufzuzeichnen. Der jedesmalige Kehlkopfstand macht das Ansatzrohr länger oder kürzer, und es ist sehr wohl denkbar, daß durch Kompensationen der Bewegungen oder Verkürzungen am Zungengrund beispielsweise die für das beste, kraftvollste Tönen der Stimme geeigneten Ansatzröhren gefunden werden. Ich habe deshalb in Gemeinschaft mit Th. S. Flatau nicht nur die Kehlkopfbewegungen, sondern gleichzeitig auch die des Ansatzrohres verzeichnet. Wir fanden schon vor E. Barth, daß der Kehlkopf des ungeschulten Sängers den Skalen nicht gleichsinnige Bewegungen machte, Bewegungen, die allerdings durchaus gering waren, und konnten konstatieren, daß der Kehlkopf im ganzen ein sehr deutliches Hinstreben zur Indifferenzlage beim Singen zeigt. Andererseits zeigte sich im Ansatzrohre ein auffallendes Verschwinden der Vokaldifferenzen, dabei sehr starke, unabhängige Mundbodenbewegungen, wobei die Vokaldifferenzen doch noch nachweisbar waren. Wir erblickten hierin das Bestreben, im Kunstgesang periphere Teile zu gunsten des Kehlkopfes zu belasten und gleichzeitig eine relativ gleiche, einheitliche Form des Ansatzrohres zu bewahren, während die zu den verschiedenen Vokalisationen notwendigen Veränderungen mehr und mehr der unabhängiger gewordenen Mundboden- und Zungenaktion zufallen. Man vergleiche hiermit auch noch die Eijkmannschen Untersuchungen der Kehlkopfbewegungen.

3. Unterkieferbewegungen. Die bequemste und, soweit meine eigene Erfahrung reicht, beste Registrierung der Unterkieferbewegungen stammt wieder von Zwaardemaker. Er legte einen Metallbügel um den Unterkiefer herum, verband diesen jedoch nicht etwa federnd oder festgeklammert damit, sondern hängte ihn äquilibriert auf, weil sich nur auf diese Weise ein ungehindertes Sprechen erzielen läßt. Zur Aufhängung des Bügels diente ein Stirnband, das in verschiedener Weite für die verschiedenen Köpfe verschließbar ist. An dieses Stirnband waren drei Stifte gelötet; ein Stift ragte in der Mitte der Stirn weit nach

vorn, zwei waren symmetrisch seitlich angebracht, etwas über dem hinteren Teil der Schläfe. An diese Stifte wurde der Bügel mit drei kräftigen Metallfedern aufgehängt; damit der Unterkieferbügel aber nicht schlotterte, wurden ein paar Kautschukstücke, in welche die hinteren Kieferecken hinein paßten, angebracht und eine verstellbare Kugel, welche fest an das Grübchen am Kinn drückte. Diese Kugel konnte rollende Bewegungen ausführen, so daß sich die Haut des Kinnes unter derselben hin und her schieben konnte. In die mittelste Metallfeder, welche die vordere Aufhängung besorgte, wurde nun ein zylindrisches Luftkissen (a) eingeschaltet. Jede kleine Bewegung des Unterkiefers wird auf das harmonikaartig ausziehbare Luftkissen übertragen und die Vergrößerung oder Verringerung des Volumens in gewöhnlicher Weise auf eine Schreibkapsel übergeleitet. Die Empfindlichkeit des Luftkissens kann man je nach der Aufhängung sowie nach der im Innern des Luftkissens befindlichen Spiralfeder regulieren.

Fig. 80.



4. Zunge und Mundboden. Rosapelly hat die Bewegungen der Zunge zu erkennen gesucht, indem er die Bewegungen des Mundbodens durch einen „Tambour explorateur“ auf die Schreibkapsel übertrug (Rousselot, p. 95). Rosapelly ließ sich einen genauen Abguß seines Kinnes anfertigen, an dem er einen tastenden Arm anbrachte, der auf den Tambour explorateur die Bewegungen des Mundbodens übertrug. Rousselot befestigte einen Bügel um den Kopf, an dem er mit Seitenarmen den Aufnahmeapparat gegen den Mundboden drückte, so daß der Apparat nicht bloß für eine Untersuchungsperson, sondern für alle dienen konnte. Später nahm er ein einfaches Stahlband, das vom Kinn aus nach hinten gelegt und dort mit einem Gummiband festgehalten wurde. An diesem Stahlband befand sich in einem kleinen Schieber ein Träger, der eine Aufnahmekapsel, an

deren Membran sich im Zentrum ein kleiner Knopf befand, hielt. Durch die Bewegungen des Mundbodens geschah ein Druck auf diesen Knopf, der sich in gewöhnlicher Weise auf die Schreibkapsel übertragen ließ. Rousselot gibt auch an, daß er schon 1889 den Druck der Zunge unter dem Gaumen mittels eines Tambours studierte, indem er seinen künstlichen Gaumen (man sehe darüber später) mit einer Membran überzog. Später nahm er kleine Kautschuksäckchen (ampoules de caoutchouc) von verschiedener Form und Größe, die es erlaubten, die Zunge in allen Stellungen zu beobachten, und welche neben den Bewegungen der Zunge auch gleichzeitig die Vibrationen wiedergaben. Diese ampoules exploratrices sind leicht in jedem Gummiwarengeschäft anzufertigen.

Zwaardemaker ging ebenfalls von der Überlegung aus, die Rosapelly schon zur Konstruktion seines Apparates geführt hatte. Es ist klar, daß man die Bewegungen der Zunge unmittelbar nur zur Anschauung bringen kann, wenn man in den Mund selbst hineingeht. Wegen der schon mehrfach angeführten Gründe ist es jedoch immer besser, die Zungenbewegungen aus der Spannung der Muskulatur am Mundboden abzuleiten. Über die Muskulatur am Mundboden sagt Zwaardemaker: „Dieselbe dient zwar zum Teil zur Kieferöffnung, manchmal ist sie jedoch fast ausschließlich bei der Ausführung von Sprechbewegungen tätig. Dies gilt namentlich vom mittleren Teil des Mundbodens; es befindet sich dort der löffelförmige M. mylohyoideus, welcher sich zwischen beiden Hälften des Unterkiefers ausdehnt, dessen Zusammenziehung die Zunge emporhebt, ferner der die Zunge ausstreckende M. genio-glossus, endlich zwischen den beiden genannten der dünne, geradlinige, nach hinten gehende M. genio-hyoideus. Die vorderen Äste des M. digastricus stören nur bei einigen Individuen, bei welchen dieselben in der Medianlinie zusammenstoßen, was gewöhnlich nur ganz vorn der Fall ist.“ Deshalb wählte Zwaardemaker einen Punkt der Mittellinie, der ungefähr 1 bis $1^1/_2$ cm hinter dem Kieferrand am Kinne lag. Dort wurde ein Luftkissen mit Pelote angebracht (s. Fig. 80 c). Dieses Kissen verband er in einfacher Weise mit dem schon für die Kieferbewegung beschriebenen Kieferbügel, wobei es so angebracht wurde, daß es einen sanften Druck auf den Mundboden ausübte. Auf diese Weise geben die Hebungen und Senkungen der

Schreiblinie die wechselnden Spannungen der Mundbodenmuskulatur an. Die Bewegung der Zunge z. B. beim *u* nach unten wird sich ganz deutlich am Mundboden und damit auch in der Schreibkurve bemerkbar machen. Besonders zeigt sich eine deutliche Hervorstülpung des Mundbodens beim *l* und ein deutliche Hebung beim *k*.

Um die Deutung der so vom Mundboden gewonnenen Kurve auf die Zungenbewegung zu übertragen, muß man also ganz offenbar bereits von der vorhandenen Kenntnis der Zungenbewegungen ausgehen, die ja durch das Röntgenverfahren heute sehr vervollkommnet werden kann. Man sieht, wie gerade hier aus den Schreibkurven nicht unmittelbar Schlüsse gezogen werden dürfen.

5. Gaumensegel. Die Bewegungen des Gaumensegels wurden in einfachster Weise zur Anschauung gebracht von Czermak, der zuerst (1859) einen Fühlhebel horizontal durch die Nase bis auf die Rückenfläche des Gaumensegels brachte und an den Hebungen desselben den Grad der Hebung des Segels erkannte. Daß man diese Bewegungen mit Leichtigkeit auf einen Registrierzylinder aufschreiben kann, liegt auf der Hand. Ferner verband er die Nasenhöhle mit einem Kautschukschlauch luftdicht, dessen anderes Ende zu einer kleinen Schreibkapsel ging, die aber an Stelle des Schreibhebels ein Spiegelchen trug, das sich hebelförmig auf und ab bewegte, so oft die elastische Membran der Schreibkapsel durch den Luftdruck hervorgewölbt oder eingedrückt wurde. Ließ man auf das Spiegelchen ein helles Licht fallen, so reflektierte es dasselbe und gab nun die Bewegung des Gaumensegels in vergrößertem Maßstabe wieder. Man darf nicht übersehen, daß man bei diesem Verfahren die Nase luftdicht mit dem Kautschukschlauch in Verbindung bringen muß, weil sonst bei allen oralen Lauten kein Ausschlag erfolgen würde, wenn man beispielsweise nur eine Nasenhöhle mittels der Olive abschlösse und die andere offen ließe. Drückt man aber die andere Nasenöffnung auch zu, so wird bei der jedesmaligen Hebung des Gaumensegels, z. B. bei den Vokalen *a*, *o*, *u* usw. ein Quantum Luft in die Höhe gehoben, welches nun seine Wirkung auf die kleine Schreibkapsel ausübt. Das Experiment ist sehr elegant und besonders für die Vorlesungen außerordentlich geeignet. Rousselot verband so wie Czermak die Nasenhöhle

mittels Olive mit einer Schreibkapsel, zeichnete aber nur die die Nasenhöhle durchströmende Luft bei den Nasallauten auf diese Weise auf.

Ein anderes Registrierinstrument stammt von Weeks (Rousselot, p. 94). Er leimte einen kleinen Knopf aus Gips, der an einem Hebelarm befestigt war, direkt an der Basis des Zäpfchens an! Rousselot ist der Meinung, daß dieser Apparat zwar sehr peinlich in seiner Anwendung sei, daß er aber nicht so peinlich sei wie die durch die Nase geführte Sonde, deren Erfindung er irrtümlicherweise Allen zuschreibt. Diese Sondenregistrierung ist übrigens noch mehrfach nacherfunden worden (Rousselot, p. 95). Die Anbringung der Nasensonde ist durchaus nicht so unangenehm, wenn erst der leichte Kitzel in der Nase selbst überwunden ist, ev. kann man übrigens auch die Nase dazu kokainisieren, was für die freie Beweglichkeit, wenn man eine Kokain-Adrenalinmischung benutzt, überaus vorteilhaft ist.

Besonders leicht ist diese Fühlhebeluntersuchung natürlich in solchen Fällen, wo man von oben her mehr Raum hat, um den Fühlhebel bequem anzubringen. In der Weise hat zuerst Gentzen Gelegenheit gehabt, eine Patientin zu untersuchen, bei welcher infolge einer Geschwulstoperation die eine Augenhöhle und die laterale Nasenwand beseitigt waren. Der Fühlhebel wurde mittels eines kleinen Gewichtchens auf die nasale Fläche des Gaumensegels aufgesetzt, der Fühlhebel drehte sich um eine Achse, die mittels eines Stirnbandes sich unmittelbar vor der leeren Augenhöhle befand. Der andere Arm des Hebels zeichnete die Bewegungen auf das berußte Papier auf. Genau in der gleichen Weise hatte ich Gelegenheit, eine Patientin mittels des Fühlhebels exakt zu untersuchen.

Für die physiologische Untersuchung der Gaumensegelkraft hat A. Hartmann einen sehr praktischen Apparat angegeben, der auch unter Umständen für Phonetiker Interesse haben kann. Er verbindet die eine Nasenhöhle mittels einer Olive mit einem Gebläse, die andere Nasenhöhle mittels einer zweiten Olive mit einem mit Quecksilber gefüllten Manometerrohr. Wenn er nun das aufgeblasene Gebläse durch einen Quetschhahn staut und die zu untersuchende Person einen Vokal langanhaltend oder auch einen Dauerkonsonanten sprechen läßt und dann den Hahn öffnet, so

rückt die jetzt plötzlich freigemachte gestaute Luft durch die Olive in die eine Nasenhöhle, entweicht dann in die andere Nasenhöhle und wirkt so auf das Quecksilber. Das wird sie so lange tun, wie das Gaumensegel dem Druck standhält, so daß man an dem Ausschlag der Quecksilbersäule die Kraft des Gaumensegels direkt ablesen kann. Auf diese Weise sind die Resultate gewonnen, die oben bei der Physiologie des Gaumensegels mitgeteilt wurden.

6. Lippen. Die Registrierung der Lippenbewegung wurde zuerst von Rosapelly angegeben (Rousselot, p. 90). Sein Apparat setzt sich aus zwei kleinen Branchen zusammen, die eine löffelartige Biegung zur Aufnahme der Ober- und Unterlippe besitzen. Zwischen sich haben sie eine Luftkapsel, die bei ihrer gegenseitigen Annäherung zusammengedrückt wird. Rousselot hat einen sehr ingeniösen Apparat dafür angegeben; er ließ zwei kleine Hebelarme von den Lippen in Bewegung setzen, die ihre Bewegungen auf eine Luftkapsel übertrugen. Gleichzeitig konnte er zwischen diesen Hebelarmen einen zusammendrückbaren Mundtrichter anbringen, der, wenn man die verschiedenen Öffnungsstellungen der Lippen, z. B. bei den verschiedenen Vokalen aufnahm, auch gleichzeitig die durch den Mund gehende Luftpression zur Registrierung brachte. Für die sagittale Bewegung der Lippen drückte er von dem schon beschriebenen Kinnbügel aus eine Kapsel mit Pelote gegen den Lippensaum. In etwas anderer Art hat Zwaardemaker die Lippenbewegung registriert mittels Luftkissen, die er sowohl an der Ober- wie an der Unterlippe fest anschließen ließ. Bei der Stülpung der Lippen wurden die Luftkissen eingedrückt, beim Zurückgehen wieder freigelassen. Die Befestigung wurde durch einen sog. Nasenöffner von Feldbausch, ein kleines Instrument, das die Nasenhöhle federnd auseinander- und dadurch sich zugleich selbst festhält, bewirkt. Das Luftkissen für die Oberlippe war zylindrisch und lag in einer kleinen Metallrinne; da diese sowohl wie der an dem zylindrischen Luftkissen befestigte Gummischlauch doch ziemlich schwer sind, so befestigte er das Ganze in einfacher Weise an dem oben beschriebenen Stirnbügel (s. Fig. 80 b).

Eine andere Form der Zwaardemakerschen Luftkissen sind kugelförmige, ganz kleine Aufnahmekapseln, die zu dreien in einer Reihe angeordnet sind, so daß man sie gesondert mit

Mareyschen Schreibkapseln in Verbindung bringen kann. Sie sind, wie ich mich überzeugte, außerordentlich leicht einstülpbar und behindern die Bewegung der Lippe absolut nicht. Zwaardemaker nennt diesen kleinen Apparat einen Analysator der Lippenstülpung.

Die Unterlippenstülpung wurde durch zwei kugelförmige Luftkapseln bewirkt.

d) Apparate für die Gesamtaufnahme der Artikulationsbewegungen.

Zwaardemaker hat seine oben im einzelnen geschilderten Apparate an dem Stirnbügel zusammen befestigt, so daß man in bequemer Weise eine größere Reihe von Bewegungen gleichzeitig aufzeichnen kann, was insbesondere für die Untersuchung der zeitlichen Verhältnisse der einzelnen Bewegungen von Wichtigkeit ist. Es ist nicht uninteressant, zu wissen, daß schon vor längerer Zeit der Versuch gemacht worden ist, durch Fühlhebel die gesamte Bewegung des Artikulationsrohres zur Aufzeichnung zu bringen, so daß man auf der Zeichnung direkt ablesen kann, welche Teile des Mundes bewegt worden sind, und, wenn man eine derartige Zeichnung auf ein fortlaufendes Papier schreiben läßt, man ablesen kann, was der Untersuchte gesagt hat. Ein derartiger Apparat stammt von Amadeo Gentilli, er nennt ihn den Glossographen. In seinem Vortrage betont er, daß der Apparat den Zweck habe, die menschliche Sprache in einer leicht lesbaren Zeichenschrift automatisch zu fixieren. Der Erfinder geht davon aus, daß sich sämtliche Artikulationsbewegungen auf folgende einfache Bewegungen zurückführen lassen: Heben des Zungenrückens bei *ch*, *r*, *o*, *u*, Heben der Zungenspitze bei *sch*, *l*, Heben der ganzen Zunge bei *e*, *i*, Vorschieben der Zungenspitze bei *s*, *t*, Heben der Unterlippe bei *o*, *u*, *f*, *b*, Senken der Unterlippe bei *a*, Senken der Oberlippe bei *f*, *b*, Ausströmen des Hauches durch die Nase mittels Senkung des Gaumensegels bei *n*, *m*. Diese charakteristischen Bewegungen überträgt er durch Doppelhebel von der Innenseite des Mundes nach außen und verbindet sie mit Schreibstiften, und zwar sind sie so verbunden, daß bei *ch*, *r*, *g* bloß der Hebel 4, bei *e*, *i* die Hebel 4 und 5 gleichzeitig, bei *sch*, *l* bloß der Hebel 6, bei *s*, *t* Hebel 5 und 6

gleichzeitig, bei *a*, *o*, *u* Hebel 3 und 4, bei *f*, *b* Hebel 2 und 3 in Aktion treten.

In der Ruhe ziehen sämtliche Stifte auf dem ablaufenden Papierstreifen nur gerade Linien; bei der Bewegung entstehen Wellenlinien, aus deren Form und Länge man den Grad des Verschlusses und die Verschmelzung mit anderen Lauten des Artikulationsgebietes entnehmen kann. Die Nasenlaute *m* und *n* werden mit Hilfe zarter Flügelchen dargestellt, welche, durch den Hauch bewegt, einen schwachen elektrischen Strom schließen, der einen Elektromagneten anregt und so den Hebel 1 in Bewegung setzt. *m* und *n* erscheinen also auf der Zeile 1, jedoch ohne Verschiedenheit des Ausschlages, und unterscheiden sich nur dadurch, daß *n* von dem Zeichen für *t*, *m* dagegen von dem Zeichen für *b* begleitet wird. Nur der reine Nasalton des Französischen erscheint ohne Begleitung. Der Apparat kann mit einer Hand leicht in den Mund geführt werden und stützt sich an die Zähne. Der Papierstreif, auf den die Federn zeichnen, ist direkt am Apparat selbst in einer Rolle angebracht. Physiologisch ist diese Lösung der Aufgabe, die Sprachbewegung direkt ablesbar zu verzeichnen, jedenfalls sehr interessant, und Ludwig hat in seinen Vorlesungen den Apparat auch stets demonstriert.

e) Färbemethoden.

Um über die Artikulationsstellen der einzelnen Laute Klarheit zu bekommen, hat Grützner eine sehr leicht anwendbare und in die experimentelle Phonetik allgemein eingeführte Methode angegeben. Grützner färbte sich die Zunge und fand dann nach der Artikulation diejenigen Stellen am Gaumen gefärbt, an welche behufs irgend eines Lautes die Zunge angelegt wurde. Sein Verfahren schildert er folgendermaßen: „Die trocken abgewischte Zunge bestreiche ich mir dick mit Karmin oder chinesischer Tusche und artikuliere dann möglichst deutlich und zwanglos die Laute. Hierauf wird der Mund geöffnet gehalten und bei passendem Licht mit einem großen Kehlkopfspiegel, welcher schräg oben nach dem Gaumen sieht, und einem gewöhnlichen Toilettenspiegel betrachtet". Grützner erwähnt ausdrücklich, daß schon Oakley Coles ähnlich verfuhr, um bei künstlichem Verschluß von Gaumenspalten durch Obturatoren zu sehen, welche Gaumenlaute vor-

zugsweise zu ihrer Bildung des Obturators bedürfen, indem er das Innere des Mundes mit einer Mischung aus Mehl und Gummi arabicum bestrich. Ich selbst habe das Grützner sche Verfahren insofern modifiziert, als ich nicht die Zunge, sondern den Gaumen färbe. Bestreicht man den Gaumen beispielsweise mit Aquarellfarbe von Ultramarin und spricht nun irgend einen Zungenlaut, so sieht man nach der Öffnung des Mundes nicht nur die Stelle, an welcher sich die Zunge dem Gaumen angelegt hat, denn hier ist durch die schwammige Oberfläche der Zunge die gesamte Farbe abgenommen, sondern man sieht gleichzeitig, welche Stelle der Zunge sich dort angelegt hat. Dies wäre durchaus nicht aus der Grützner schen Zungenfärbung allein zu erkennen. Es ist merkwürdig, daß die Experimentalphonetiker bis jetzt so wenig auf die Berührungsstellen der Zunge selbst acht gegeben haben; denn die weitere Ausbildung, die das Grützner sche Verfahren von Rousselot gefunden hat, besteht nur darin, daß er an Stelle des natürlichen Gaumens einen künstlichen Gaumen benutzt, einen Gaumen aus Papiermaché, den er nach einem Gipsabdruck des Gaumens der Person, die untersucht werden soll, anfertigt. Auf diese Weise kann er, besonders wenn er den Gaumen in einzelne Felder zerlegt und nun das gewonnene Färberesultat auf ein Schema einzeichnet, eine exakte Registrierung der Anlagerungsstellen der Zunge vornehmen. Wir werden bei der Beschreibung der Untersuchungsmethoden der einzelnen Laute noch sehen, wie das von mir angegebene Verfahren besonders für die exakte Erkennung gewisser s-Bildungen entschieden vorzuziehen ist.

Um bei der Untersuchung des Unterschiedes zwischen Media und Tenuis die größere Berührungsfläche der Media gegenüber der der Tenuis festzustellen, habe ich doppelseitig berußtes Papier zwischen die sich aneinander legenden Lippen bei *b* und bei *p* gelegt und so die Lippen selbst sich abdrücken lassen. Die Figur zeigt die auf diese Weise gewonnenen Bilder und gleichzeitig auch die deutlichen Unterschiede (s. Fig. 83).

Ebenso kann man mit der zweiten und dritten Artikulationsstelle verfahren, indem man an Stelle des Papieres flache Aluminiumstreifen der Wölbung des Gaumens entsprechend biegt, sie dann berußt und vorübergehend der Mittellinie des Gaumens anlegt. Hat man eine Anzahl derartiger leicht herzustellender Streifen bereit, so kann man sich sehr bald davon überzeugen,

daß das bei den Verschlußlauten des ersten Artikulationsgebietes Gefundene bei denen des zweiten und dritten ebenfalls zutrifft.

Die Sprachlaute.

Im folgenden wird ein kurzer Gang durch die Reihe der einzelnen Laute gemacht, ohne daß wir uns, in Rücksicht auf den zur Verfügung stehenden Raum, in Einzelheiten vertiefen können. Jedoch möchte ich darauf hinweisen, daß die wichtige Frage nach dem Unterschiede der Tenuis von der Media, sowie die Bildung der *s*-Laute ausführlich besprochen wird, einerseits um die Anwendung einiger physiologischer Untersuchungsmethoden an einem Beispiele zu zeigen, andererseits weil gerade hier außerordentlich viele Abweichungen teils dialektischer teils sprachlicher Art vorhanden sind.

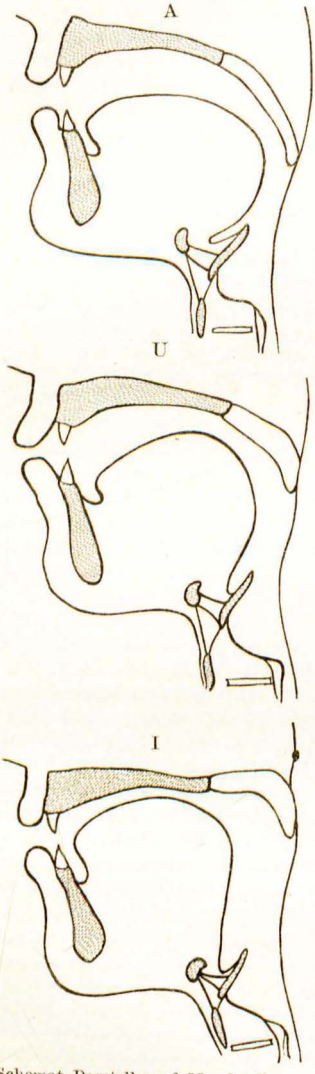
a) Vokale und Konsonanten.

Wir wissen besonders durch die Untersuchungen von Helmholtz, daß unsere gesamte Sprachartikulation im wesentlichen nichts ist als eine Modifikation der aus dem Kehlkopf stammenden Stimme, eine Modifikation, die in ihrer unendlichen Mannigfaltigkeit vor allen Dingen durch die verschiedenartige Form der einzelnen Teile des Ansatzrohres, durch ihre Lagerung zueinander, durch ihre Kontraktion oder Erschlaffung bedingt wird. Stellen wir uns das Ansatzrohr in der Fig. 52 als ein einfaches Rohr, das leicht ungefähr im rechten Winkel geknickt ist, vor, so wird, wenn dieses Rohr überall gleich weit offen ist, die Stimme frei hindurchgehen können, und es wird für das äußere Ohr der Stimmklang nur mit der Modifikation des Klanges dieses Rohres hörbar werden. Das ist die Stellung des Ansatzrohres, wie sie beim Vokal *a* stets vorhanden ist. Sowie aber an einer Stelle des Rohres eine Verengerung entsteht, so wird der Klang des Vokales *a* ein anderer werden, es wird eine Art Verdumpfung des reinen Vokalklanges eintreten. Der Grad dieser Verdumpfung des Vokales ist ein unendlich mannigfaltiger und verschieden hoher. Wenn wir zunächst an das äußere Ende des Anzatsrohres uns begeben und sehen, in welcher Weise dieser Mechanismus am Lippensaum in Kraft tritt, so werden wir von hier aus durch Analogie auf die Veränderungen an den übrigen Stellen des Artikulationsrohres schließen können. Machen wir einmal vor dem Spiegel die Vokalreihe *a*, *o*, *u*, so sehen wir, daß vom *a* aus gerechnet das äußere Ende des Artikulationsrohres sich allmählich verengert, und daß mit dem Weiterfortschreiten dieser Verengerung der Vokal immer dunkler und dumpfer wird. Gehen wir vom *u* noch einen Schritt weiter und nähern die Lippen einander so

weit, wie es nur irgend möglich ist, ohne den austretenden tönenden Luftstrom zu unterbrechen, so werden wir bald merken, daß aus dem *u* ein *w* entsteht, und zwar ist dies dasjenige *w*, welches man in Süddeutschland vorfindet, ein durch Aneinandernäherung beider Lippen entstehendes Lippen-*w* oder labio-labiales *w*. Ich will gleich hier bemerken, daß man in Norddeutschland statt dieses *w* ein *w* spricht, welches mit oberer Zahnreihe und Unterlippe gebildet wird, das sog. Zahnlippen-*w* oder dento-labiale *w*. Wir sehen, daß zwischen dem labio-labialen *w* und dem vorhergehenden Vokal *u* kein weiterer Unterschied besteht als der Unterschied des Grades der Verengerung. Nicht die Qualität der Bildung ist anders, sondern nur die Quantität. Im Prinzip ist das *w* also vollständig gleichwertig dem vorausgegangenen Vokal *u*, es stellt nur einen höheren Grad der Verengerung an dem Ende des Artikulationsrohres vor. Es ist demnach ganz deutlich, daß zwischen den vorhergehenden Vokalen und dem Konsonanten hier kein prinzipieller Unterschied existiert, sondern nur ein Gradunterschied. Trotzdem ist mit diesem Gradunterschied ein neues Moment in die phonetische Erscheinung getreten.

Während wir nämlich bei *a*, *o* und *u* im wesentlichen doch immer nur die Stimme hören und deswegen diese Laute als Stimmlaute (vox = die Stimme) oder Vokale bezeichnen, mischt sich in dem Moment, wo die Verengerung den bestimmten Grad erreicht, dem Stimmklange ein charakteristisches, deutlich von dieser Stimme unterscheidbares Geräusch bei, ein Geräusch, das dadurch hervorgerufen wird, daß die austretende Luft an der verengten Stelle eine besondere neue Reibung erhält. Wir wissen ja aus der Anatomie und Physiologie der Stimme, daß die erste verengte Stelle, die die austretende Luft passiert, die Stimmritze, diese schmale elliptische Öffnung zwischen den beiden Stimmbändern ist. Hierauf kommt der tönende Luftstrom in die große Höhle des Ansatzrohres und entweicht nun aus dem Ansatzrohre nach außen. Stellt sich diesem Luftstrom an irgend einer Stelle des Ansatzrohres eine so starke Verengerung entgegen, daß an den Rändern dieser Verengerung eine neue Reibung entsteht, so ist es deutlich, daß diese Reibung sich hörbar der austretenden Stimme beimischen muß, und in diesem Sinne, weil neben der Stimme (vox) noch eine Geräusch mitklingt, möchten wir physiologisch den Ausdruck Konsonant für alle Laute, die so charakterisiert sind, gebrauchen: consonat aliquid, ergo consonans. Wir lassen also den alten Unterschied von Selbstlautern und Mitlautern als vollständig unphysiologisch und durchaus falsch fallen; denn wir haben ja unter unseren sog. Mitlautern eine große Reihe, die ganz zweifellos selbstständig zu lauten imstande sind, so z. B. *w*, *m*, *n*, *r*, *l*, *f*, *ch*, *sch*, *p*, *t*, *k*. Während wir also prinzipiell keinen Unterschied zwischen Vokal und Konsonant in dem althergebrachten Sinne zu machen imstande sind, wollen wir einen neuen Unterschied zwischen Vokalen und Konsonanten dahin präzisieren, daß wir sagen: Vokale sind im physiologischen Sinne diejenigen Laute der menschlichen Sprache, bei denen die Stimme (vox) das wesentlichste und charak-

Fig. 81 (nach Nagel).



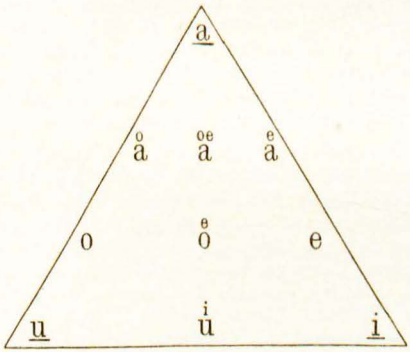
Schemat. Darstellung d. Mundstellungen bei den Vokalen *A*, *U*, *I*, modifiziert nach Brücke und Grützner.

teristischste Moment darstellt, und bei denen nur je nach der Formation des Ansatzrohres der Klang mehr oder weniger verändert wird. Konsonanten dagegen sind diejenigen Laute der menschlichen Sprache, bei denen entweder neben der Stimme oder auch ohne die Stimme ein charakteristisches, für jeden einzelnen Konsonanten bezeichnendes Geräusch auftritt, mag dies Geräusch nun ein Reibegeräusch sein (wie bei dem bis jetzt besprochenen *w*), oder mag es ein Explosionsgeräusch sein, oder mag es endlich durch Zurückprallen der tönenden Luft an einigen Stellen des Ansatzrohres entstehen. Auf diese Weise ist der Unterschied zwischen Vokal und Konsonant schärfer präzisiert.

b) Vokale.

Gehen wir nun zur Besprechung der einzelnen Vokale über. Wir sehen, daß man eine Verengerung des Ansatzrohres an der äußersten Stelle desselben, am Lippensaum nur bis zum Vokal *u* bringen kann, wenn man nicht in das Konsonantengebiet übertreten will und am Lippensaum ein neues, sich der Stimme beimischendes Geräusch erzeugen will. Der Vokal *u* ist demnach an dieser Stelle die Grenze des Vokalgebietes. Wenn wir den Finger über die untere Zahnreihe auf die obere Fläche der Zunge legen und nun die drei Vokale *a*, *e*, *i* hintereinander sprechen, so werden wir fühlen, daß der Zungenrücken sich ruckweise bei *e* und noch stärker bei *i* in die Höhe hebt. Betrachten wir die Figur, so sehen wir, daß auf diese Weise zwischen Zungenrücken und Gaumen an einer weiter nach hinten gelegenen Stelle des Ansatzrohres eine Verengerung entsteht, genau in der

gleichen Weise wie vorn an dem Lippensaum bei *u*. Heben wir nun, indem wir den Mundboden mit Daumen und Zeigefinger in die Höhe drücken, den Zungenrücken, indem wir *i* sagen, so entsteht ganz gegen unseren Willen aus dem *i* ein *j*, d. h. es mischt sich dem austretenden Luftstrom ein Reibegeräusch bei, und es entsteht ein Konsonant. Wir sehen also, daß der Vokal *i* an dieser Stelle die äußerste Grenze des Vokalreiches sein muß. Demnach haben wir, von dem Vokal *a* ausgehend, zwei Vokalreihen: *a*, *o*, *u* nach der einen Seite, *a*, *e*, *i* nach der anderen Seite. Stellen wir diese Vokalreihen so dar, daß wir uns ein Dreieck zeichnen, in dessen Spitze wir den Vokal *a* und in dessen beide unteren Winkel wir die Vokale *u* und *i* einzeichnen,



so ist es klar, daß in diesem Dreieck die sämtlichen möglichen Vokale des Menschen vorhanden sein müssen. Über *i* und *u* hinaus können wir nicht gehen, weil wir dann in das Gebiet der Konsonanten kommen, die wir aus sehr wichtigen Gründen auch sprachphysiologisch immerhin von den Vokalen abtrennen müssen. Daß die Grenze bei *i* und *u* oft verwischt worden ist, können wir am besten daraus erkennen, daß sehr häufig statt des *u* in alten Schriften das *v* oder *w* eingesetzt wurde und ebenso häufig statt des *i* das *j* und umgekehrt. Da nur ein ganz geringer Schritt dazu gehört, um vom *u* bzw. vom *i* zu den Konsonanten zu gelangen, so ist diese Erscheinung in der Schrift nichts weiter als der deutliche Ausdruck dafür, daß auch in der Sprache die scharfen Grenzen nicht immer inne gehalten wurden.

In dem Vokaldreieck müssen also sämtliche Vokale liegen. Wie viele Vokale der Mensch überhaupt besitzt, ist nicht auszurechnen, und wenn in neuerer Zeit einige 90 Vokale aufgestellt worden sind, so darf der Erfinder dieses umfangreichen Vokalsystems (Bell) sich wohl nicht vorstellen, daß er damit sämtliche Vokale wirklich dargestellt hat; denn die Zahl der wirklich möglichen Vokale ist ganz unbegrenzt. Es läßt sich zwischen *a* einerseits und *i* und *u* andererseits eine so zahllose Kombination von Stellungen konstruieren und mit einiger Ge-

schicklichkeit sogar auch sprechen, daß man sagen muß, es besitzt eigentlich jeder sprechende Mensch eine besondere Serie von Vokalen, die ihm persönlich zur Verfügung steht, und wir kommen hiermit auf einen Punkt, den wir vor der Besprechung der einzelnen Vokale doch noch kurz erledigen wollen. Der individuelle Klang der menschlichen Stimme ist, wenn auch die Funktion der Stimmbänder selbst naturgemäß eine große Rolle dabei spielt, im wesentlichen doch abhängig von den Tönen, die dem Kehlkopfstimmklange im Ansatzrohre beigemischt werden. Daß die Kinder- und Frauenstimme in ihrem Unterschiede von der Männerstimme zunächst im wesentlichen auf dem Stimmklange des Kehlkopfes beruht, ist selbstverständlich; die Unterschiede zwischen den einzelnen Individuen aber beruhen vorwiegend auf dem Ansatzrohr. Wenn wir die äußeren Formen des Gesichtes bei den verschiedenen Menschen betrachten und mit diesen äußeren relativ einfachen Formen die außerordentlich komplizierten Verhältnisse des inneren Gesichtes, wie wir sie ja aus den Abbildungen bereits kennen, vergleichen, so werden wir zugestehen müssen, daß die Möglichkeit der Unterschiede in bezug auf die inneren Gesichtszüge eine unendlich viel mannigfaltigere ist als die der äußeren Gesichtszüge. Jeder Arzt, der viel Gelegenheit hat, Nasen-, Rachen- und Mundhöhle verschiedener Menschen genau zu untersuchen, weiß, welche unendliche Mannigfaltigkeit hier zu finden ist, er weiß aber auch, daß die Ähnlichkeit der äußeren Gesichtszüge beispielsweise bei Geschwistern und Verwandten sich deutlich auch in den inneren Gesichtszügen ausprägt. Es wird uns deshalb nicht wundernehmen, daß der Sprachklang bei Verwandten ähnlich ist. Je genauere Analysen man aber durch speziell dazu eingerichtete Instrumente von den einzelnen Vokalen und Konsonanten der einzelnen Individuen machen kann, desto deutlicher werden die Aufschlüsse ergeben müssen, daß es unmöglich ist, alle Schattierungen der Klänge zu registrieren. Man wird sich von vornherein damit begnügen müssen, gewisse Grundstellungen festzuhalten und von ihnen aus die individuellen Abweichungen näher zu erläutern. Es ist deshalb viel besser und jedenfalls praktischer, wenn wir bei der einfachen von Hellwag aufgestellten Vokaltafel verbleiben. Zwischen *a* und *o* müssen wir einen Laut unterscheiden, der zwar kein reines geschlossenes *o* darstellt, aber auch andererseits kein reines *a* hören läßt, das sog. $\overset{o}{a}$. Dieses $\overset{o}{a}$, das wir im Deutschen nur in der kurzen Form kennen, z. B. in offen, Orden, Osten, das dagegen im Englischen auch in der langen Form oft genug vorkommt, hat auch noch so viele verschiedene Nuancen, daß man ganz gut drei bis vier verschiedene Arten unterscheiden kann. Man würde die vier Arten auch noch leicht mit Buchstaben so ausdrücken können, daß man die aufeinanderstehenden Laute gleich stark schreibt oder den darüber geschriebenen etwas kleiner macht, um im ersteren Falle anzudeuten, daß die Beimischung von *a* und *o* zu gleichen Teilen geschehen ist, oder im zweiten Falle anzudeuten, daß die Beimischung von *a* größer war als die von *o*. Man kann, wenn man will, noch mehr Feinheiten auf diese

Weise schriftlich darstellen. Aber diese Darstellungen sind meiner Überzeugung nach zwecklos; denn sie ersetzen nicht annähernd den akustischen Eindruck des Gesprochenen und verwirren die Anschauungen. Wir begnügen uns in unserer Vokaltafel mit der einfachen Darstellung $\overset{o}{a}$. Auf der anderen Seite steht zwischen *a* und *e* der Vokal $\overset{e}{a}$, der ja in dieser phonetischen Weise auch schon immer geschrieben wird; denn die beiden Strichelchen über dem *a* bedeuten nichts weiter als ein *e*. Es gibt nun zwischen den Vokalen der beiden gegenüberstehenden Seitenschenkel im Dreieck eigentümliche Beziehungen, die sich dadurch ausdrücken, daß die beiden physiologischen Stellungen kombiniert einen neuen Vokal ergeben. Machen wir nämlich die Stellung bei $\overset{o}{a}$, und zwar ohne daß wir die Stimme dabei tönen lassen, und versuchen dann, ohne diese Mundstellung zu verändern, ein *ä* zu sprechen, so wird, wir mögen nun wollen oder nicht, deutlich ein *ö* erscheinen, und zwar dasjenige, das wir in den kurz gesprochenen Silben öst(lich), öff(entlich), öf(ters) usw. vernehmen. Wir schreiben diesen Vokal ganz entsprechend den beiden Komponenten, aus denen er gebildet ist, $\overset{oe}{a}$. Nehmen wir zweitens die Stellung des geschlossenen *o* an, des *o* also, das wir in den Worten Ofen, holen usw. hören, und zwar ohne daß wir dieses *o* mit Stimme aussprechen, und versuchen dann, ohne die Stellung zu verändern, ein *e* zu sagen, so wird ganz deutlich das geschlossene *ö* ertönen, welches wir in den Worten ölig, hören, tönen vernehmen. Wir schreiben dieses *ö* sprachphysiologisch richtig $\overset{e}{o}$. Beobachten wir das gleiche Verfahren mit den beiden Vokalen *u* und *i*, nehmen wir also die *u*-Stellung an, ohne das *u* zu sprechen, und sprechen dann in dieser Stellung das *i*, so wird laut und deutlich das *ü* ertönen. Natürlich gibt es auch hierbei eine große Reihe von Unterschieden. Ich kann das *ü* sehr hell nach dem *i* hin sprechen, ich kann es sehr dumpf mehr nach dem *u* hin sprechen. Wir begnügen uns aber in unserer physiologischen Auseinandersetzung mit einem *ü* und schreiben es nach unserer bisherigen Darstellung $\overset{i}{u}$. Dies sind sämtliche Vokaltypen, aber nicht sämtliche Vokale. Es ist sogar sehr die Frage, ob die in dieser experimentellen Weise gebildeten Mischvokale *ä*, *ö*, *ü* überhaupt geprochen werden. Es kann ja zufällig sein, daß gerade die genaue Mitte zwischen den beiden komponierenden Vokalen nicht gesprochen wird, da es deutlich ist, daß es eine unendliche Anzahl von Abstufungen geben muß. Wir begnügen uns aber mit den beschriebenen Vokalen, gerade weil sie die Resultante der Komponenten darstellen. Wir haben auf diese Weise 10 Vokale.

Bei den Vokalen ist das Gaumensegel stets gehoben, so daß der Nasenrachenraum von der Mundhöhle abgeschlossen ist. Nur beim *a* ist ab und zu noch ein kleiner Zwischenraum vorhanden, der aber deshalb noch keine Nasalierung bewirkt. Die direkten Beobachtungen mit dem Rachenspiegel durch Pienazek sind unrichtig, da der von ihm beobachtete Spalt offenbar von dem hängenden Teile des Velums

unterhalb der Verschlußstelle gebildet wird (s. Fig. 53). Bei den nasalierten Vokalen des Französischen wird das Gaumensegel nicht gehoben, so daß der tönende Luftstrom sowohl in die Mund- wie in die Nasenhöhle gleichzeitig eintritt. Die entgegengesetzten Angaben von Morochowetz sind mir völlig unverständlich; derselbe Autor gibt allerdings für das *n* an, daß dabei der Luftstrom größtenteils durch den Mund entweicht und macht noch andere Angaben, die allen sprachphysiologischen Tatsachen widersprechen.

c) Die Konsonanten.

Wenn wir nach den im Eingang dieses Abschnittes auseinandergesetzten Prinzipien die Konsonanten einteilen, so werden die den Vokalen zunächst stehenden Konsonanten die Reibelaute sein müssen; denn bei ihnen hat in der Tat die Verengerung den höchsten Grad erreicht. Die weitere Verengung führt schließlich zum Verschluß an der betreffenden Artikulationsstelle und bedingt die Bildung der Verschlußlaute. Wird dieser Verschluß vorübergehend gesprengt und wieder gemacht, so bilden sich die Zitterlaute, das *r* an den verschiedenen Artikulationsstellen; prallt endlich die ausströmende Luftsäule an der Verschlußstelle ab und entweicht durch die Nase, so haben wir es mit den Nasallauten zu tun. Aus althergebrachter Gewohnheit und weil die Betrachtung der Reibelaute ziemlich kompliziert ist, beginnen wir mit den Verschlußlauten. Alle Laute werden an drei Stellen gebildet: erstens an den Lippen, bzw. mit oberer Zahnreihe und Unterlippe, zweitens mit dem vordersten Teil der Zunge und den Zähnen und drittens mit Zungenrücken und Gaumen. Dies gilt für die deutsche Sprache und die modernen Sprachen der Kulturländer überhaupt. Es gibt noch eine vierte Artikulationsstelle, welche mit dem Zungenrücken und der hinteren Rachenwand gebildet wird, doch findet sich diese vorwiegend nur in den semitischen Sprachstämmen.

1. Verschlußlaute, Media und Tenuis.

Die Verschlußlaute an den drei Artikulationsstellen sind erstens *b* und *p*, zweitens *d* und *t*, drittens *g* und *k*. Wir sehen, daß jedesmal einem weichen Laut ein harter gegenübersteht, und wir pflegen die drei weichen Laute *b*, *d* und *g* als Mediae (d. h. mittlere) den drei harten Lauten *p*, *t* und *k* als Tenues (d. h. dünne) gegenüberzustellen. Von je her hat man über den Unterschied zwischen Media und Tenuis

gestritten, und wenn man die neueren Arbeiten über Sprachphysiologie durchsieht, so kann man leicht finden, daß dieser Streit durchaus noch nicht endgültig beigelegt ist. Zum Teil liegt es daran, daß die verschiedenen Beobachter und Untersucher verschiedenen Sprachstämmen und sogar verschiedenen Nationalitäten angehört haben. Wenn man weiß, wie selbst in Deutschland in verschiedenen Gegenden ganz verschiedenartig die Media und die Tenuis gemacht wird, so wird man sich nicht wundern, wenn man in den Auseinandersetzungen der Ausländer Dinge liest, die man als Deutscher nicht versteht. Wir werden uns daher bei der Anführung dieser Unterschiede auf die wichtigsten Kardinalpunkte beschränken müssen.

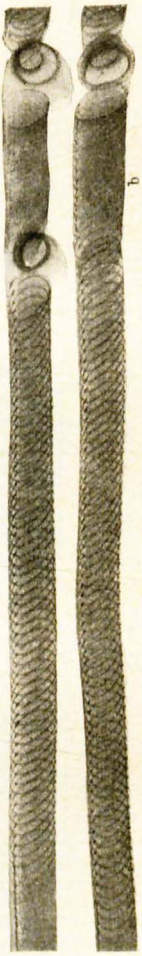


Fig. 82.

Im allgemeinen werden als allgemein anerkannte Unterschiede aufzustellen sein:

1. Die Tenuis ist tonlos, bei der Media ist die Stimmritze zum Tönen verengt oder tönt bereits bei der Bildung des Lautes (siehe Rußfiguren, Fig. 82).
2. Die Konsistenz der Verschlußteile ist bei der Media weich, bei der Tenuis hart.
3. Die Berührungsflächen sind bei der Media groß, bei der Tenuis klein — was durch Abdrücke auf berußten Flächen leicht zu erweisen ist (Fig. 83) — und
4. die Aufhebung des Verschlusses erfolgt bei der Media mehr aktiv, bei der Tenuis mehr passiv (Media — Lösungslaut, Tenuis — Sprenglaut nach Sievers).

Die übrigen Unterschiede sind wohl mit Recht von Brücke u. a. als sekundäre angesehen worden, so die größere Stärke des Exspirationsdruckes bei der Tenuis u. a. m.

Für Phonetiker von Fach mag noch bemerkt sein, daß ich die Unterschiede zwischen Tenuis und Aspirata nicht verkenne. Wir sprechen im Deutschen in der Tat nur die Aspirata, d. h. die tonlose Explosion, gefolgt vom gehauchten Vokaleinsatze.

Die eigentliche Tenuis wird so gebildet, daß zugleich mit der Öffnung des Artikulationsverschlusses eine Öffnung des Stimmritzenverschlusses erfolgt. Derartige Verhältnisse lassen sich auch graphisch registrieren, wenn man den Luftdruck hinter der Artikulationsstelle gleichzeitig mit dem durch die Explosion erfolgten Luftdruck aufnimmt. Zeigt sich eine Druckerhöhung im Munde schon

	Artikulation	Direktion des Luftstromes	Stimmlippen	Bemerkungen
F	Obere Zahnreihe — Unterlippe.	Mitte der Unterlippe.	In der Hauchstellung.	In afrikanischen Sprachen kommt auch ein bilabiales *F* vor.
W . . .	a) „ b) Beide Lippen einander genähert.	„	Tönend.	—
SS (scharfes *s*) . .	Lippen breit offen. Zahnreihen aufeinander oder genähert. Zungenspitze: a) Hinter der unteren Zahnreihe. b) Hinter der oberen Zahnreihe schwebend. Seitenteile der Zunge am Alveolarrande. In der Mitte bildet die Zunge eine Rille.	Mitte der unteren Zahnreihe.	Hauchstellung.	Näheres siehe weiter unten. Beim englischen *Th* fehlt die Konzentration des Luftstromes auf die Mitte. Zwischen vorderem Zungenrande und oberer Zahnreihe entsteht ein breites sanftes Reibegeräusch. Es ist nicht notwendig, dazu die Zungenspitze zwischen der Zahnreihe hervorzustecken.
S (weich. *s*)	„	„	Tönend.	—
Sch (dtsch.)	Zahnreihen wie bei *s*. Zunge weiter nach hinten. Lippen rüsselartig vorgeschoben.	Zuerst in der Mittellinie des harten Gaumens. Dann auf die unteren Schneidezähne.	Hauchstellung.	—
J (franz.) .	„	„	Tönend.	—
Ch (vorderes u. hinteres) . .	Zungenspitze hinter der unteren Zahnreihe, hintere Seitenränder der Zunge am Alveolarrande, Mittellinie d. Zunge bildet mit hartem (vorderes *ch*) oder weichem (hinteres *ch*) Gaumen eine Rille. Lippen zurück, oder indifferent offen. Zahnreihen offen.	Mittellinie des harten bzw. weichen Gaumens.	Hauchstellung.	—
J (deutsch)	Wie vorderes *ch*.	„	Tönend.	—

wesentlich vor letzterem, so muß man ein Offenbleiben der Stimmritze annehmen, und wir haben es dann mit der aspirierten Tenuis zu tun. Erfolgen die beiden Druckausschläge dagegen gleichzeitig, so handelt es sich um eine reine Tenuis.

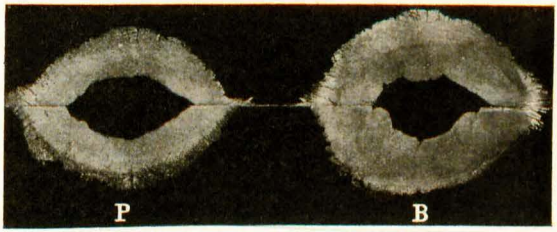
Bezüglich der Artikulation der einzelnen Verschlußlaute sei kurz nur folgendes angeführt:

P und *B*: Lippenschluß und Lippenöffnung.

T und *D*: 1. Dentale Bildung; Zungenrand legt sich an die obere Zahnreihe.
2. Alveolare Bildung; Zungenrand legt sich an den Alveolarrand des Oberkiefers.
3. Dorsale Bildung; die Zungenspitze liegt an der unteren Zahnreihe, der Verschluß wird mit dem vordersten Teile des Zungenrückens gemacht.

K und *G*: Zungenrücken bildet am harten oder am weichen Gaumen den Verschluß, vorderes (*ke*, *ki*, *ge*, *gi*) oder hinteres (*ka*, *ko*, *ku*, *ga*, *go*, *gu*) *K* bzw. *G*.

Fig. 83.



2. Reibelaute.

Einen Überblick gibt die beistehende Tabelle.

Bezüglich des *S* sei noch folgendes bemerkt.

Wenn man den Gaumen samt der inneren Fläche der Zähne mit ultramarinblauer Aquarellfarbe angetuscht und dann ein *s* gesprochen hat, so sehen wir am Gaumen die Berührungsstellen negativ, d. h. ohne Farbe, und gleichzeitig die Färbung derjenigen Zungenteile, welche die Anlagerung bewirken. Bei dem ersten *s* reicht diese Färbung nur bis etwa 1 cm von der Zungenspitze, bei dem zweiten *s* bildet fast der Zungenrand selbst die Anlagerung, und es reicht demnach die Färbung nahezu bis zur Zungenspitze. (Man sehe die Fig. 84 und 85.)

Nimmt man zur Prüfung der Luftstromrichtung eine an einen Gummischlauch angesetzte Röhre und verbindet den Gummischlauch mit einer Mareyschen oder Engelmannschen Schreibkapsel, so erhält die Kapselmembran jedesmal einen Stoß, sowie die Luft in den Schlauch tritt. Wenn ich durch ein Metronom Takt schlagen ließ, diesen Takt auf das Kymographion aufzeichnete und sodann bei jedem Takt-

schlage vom linken unteren Prämolarzahn beginnend immer um eine Zahnbreite weiter nach rechts ging, bis ich mit der Röhre am rechten ersten Prämolarzahn angekommen war, so bildeten sich, je nach der individuellen Aussprache des *s*, an der Mitte der unteren Zahnreihe verschieden gestaltete Kurven. Die aufgezeichneten Metronomschläge

Fig. 84.

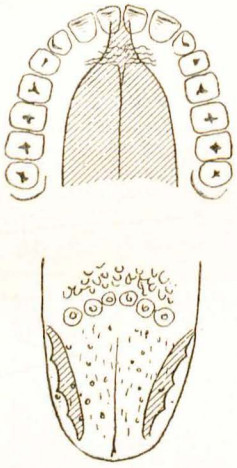
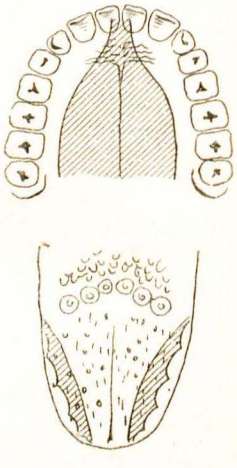


Fig. 85.

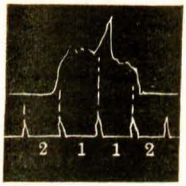


stellten in der Kurve gleichsam die Zahnreihe dar, und es zeigte sich, daß bei normal gebildetem *s* der Luftstrom sich zwar am höchsten meist ziemlich genau in der Mitte der unteren Zahnreihe erhob, daß dagegen die gesamte Luftentweichung des normalen *s* sich auf die beiden mittleren unteren Schneidezähne, ja sogar teilweise noch etwas darüber hinaus erstreckte. Man bekommt also auf diese Weise eigentümliche Bilder des *s*, und es mag nebenbei erwähnt werden, daß bei derselben Person auch nach längerer Zeit stets nahezu dieselbe Kurve bei diesem Verfahren erscheint.

Fig. 86.



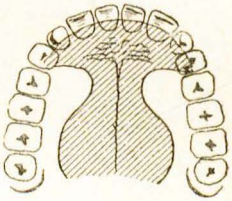
Fig. 87.



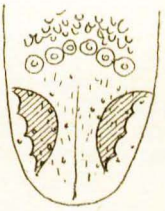
Aus der Bildung des normalen *s* kann man sehr leicht das *sch* entstehen lassen, wenn man während der Aussprache des lang zischenden *s* durch irgend ein Mittel die Zungenspitze nach hinten schiebt. Ich pflege das so zu machen, daß ich an dem Ende eines Nickelindrahtes einen kleinen, ungefähr 1 cm im Durchmesser haltenden Ring bilde und nun den übrigen Draht senkrecht zur Ebene dieses Ringes abknicke. Fasse ich das kleine Instrumentchen mittels

dieser Handhabe, lasse ich bei Beginn der *s*-Bildung den Nickelinring zwischen Zungenspitze und vorderer Zahnreihe ruhen und schiebe nun mittels des Ringes die Zungenspitze direkt nach hinten, so wird stets aus dem *s* ein deutliches *sch* werden. Färbt man nach dem von mir modifizierten Grützner'schen Verfahren, so bemerkt man, daß die Enge, durch welche die Luft zu entweichen hat, beträchtlich nach hinten gerückt ist, sowohl am Gaumen wie an der Zunge selbst.

Fig. 88.



Man kann wohl sagen, daß die geschilderte Zungenstellung (die Zahnstellung bleibt so wie beim *s*) das Wesentliche der *sch*-Bildung ist. Der eigentümliche volle, saftige Geräuschcharakter dieses Lautes wird noch dadurch verstärkt, daß der Luftstrom, nachdem er den Zaun der Zähne durchbrochen hat, in das durch das Vorschieben der Lippen verlängerte Atrium oris gelangt. Wie man sieht, durchstreicht er also zwei voneinander durch die Zahnreihen nahezu getrennte Räume.

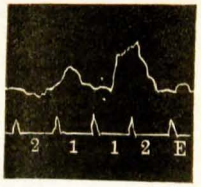


Der erste Raum liegt zwischen vorderster Zungenfläche und hinterer Fläche der vorderen Zahnreihen, der zweite Raum zwischen Vorderfläche der Zahnreihen und Lippensaum. Es ist nur natürlich, daß wir bei der oben genannten Untersuchung des Luftdruckes an den gesamten Schneidezähnen einen Ausschlag erhalten, der meist sogar schon am ersten Prämolarzahn beginnt und beim ersten Prämolarzahn der anderen Seite endet (s. Fig. 89).

3. *L*-Laute.

Eine eigenartige Stellung nehmen die *l*-Laute ein. Unser deutsches *l* gehört überhaupt nicht zu den Konsonanten seinem Klange nach, wie wir das auch schon früher auseinandergesetzt haben. Wir hören bei dem *l* in der Tat keine Spur von irgend welchem Reibegeräusch und keine Spur von irgend welchem Geräusch überhaupt. Das *l* ist rein vokalisch. Wenn wir es trotzdem unter den Konsonanten weiter aufführen, so liegen dafür zwingende grammatische Gründe vor, auf die wir hier nicht näher eingehen. Das *l* wird so gebildet, daß die Zungenspitze hinter die obere Zahnreihe angestemmt wird, während die Seitenteile der Zunge die Zähne nicht berühren. Auf diese Weise entsteht seitlich zwischen Zahnreihen und seitlichem Zungenrand eine

Fig. 89.



ovale Öffnung, der Luftstrom wird also, was ganz einzig in der Sprachphysiologie dasteht, durch die sich ihm entgegenstellende Zunge in zwei Teile gespalten: die eine Hälfte verläßt den Mund am linken Mundwinkel, die andere am rechten. Übrigens wird das *l* auch einseitig lateral gesprochen. Wenn wir die Zunge ein ganz klein wenig heben, so daß die seitlichen Zungenränder sich den seitlichen Zahnreihen etwas mehr nähern, so hören wir, wie allmählich ein Geräusch entsteht, und lassen wir nun die Stimme weg, so haben wir in der Tat einen tonlosen Reibelaut, den wir mit Doppel-*l* schreiben wollen. Dieses *ll* zu Anfang des Wortes haben wir beispielsweise in dem keltischen Familiennamen Lloyd. Laterale Zischlaute kommen in afrikanischen Sprachen vor.

Das polnische *l* wird so gebildet, daß die Zunge nach hinten herumgeschlagen und in dieser an die cerebrale Bildung des *d* und *t* erinnernden gezwungenen Stellung möglichst weit nach hinten gezogen wird. Auf diese Weise entsteht ein eigentümlicher, dem *u* ähnlicher Laut. Das russische harte *l* dagegen wird so gebildet, daß das Zäpfchen sehr fein auf den etwas erhobenen Zungengrund gesetzt wird. Auf diese Weise wird der austretende Luftstrom durch das Zäpfchen in zwei Teile zerlegt.

Das englische *l* ist tiefer gelegen als das deutsche. Die Zungenspitze hebt sich dabei steil in die Höhe, so daß sie sich gegen die Mitte des harten Gaumens stützt. Daß dadurch gleichzeitig der Zungengrund nach hinten geschoben wird, ist die Ursache von dem eigentümlich kloßigen Klang des englischen *l*.

Auch im Norden Deutschlands, in Pommern und besonders in Ostpreußen ist ein ähnliches *l* mit steil gerichteter Zungenspitze im Dialekt vorhanden.

4. *R*-Laute.

Gehen wir nun auf die vierte Klasse der Konsonanten über, so charakterisiert sich diese dadurch, daß ein Verschluß durch eine schnelle Aufhebung des Verschlusses mehrmals unterbrochen wird, und zwar geschieht diese Aufhebung des Verschlusses immer so, daß die Teile dabei ihrer Elastizität überlassen bleiben und nicht selbständige aktive Muskelbewegungen vollführen. Wir nennen diese Laute *r*-Laute und unterscheiden nach den drei Artikulationsgebieten drei Arten derselben: das Lippen-*r*, das wir in dem Brummlippchen der Kinder häufig hören, und das ebenso wie die Schnalzlaute des Kindes in der Sprache der Erwachsenen nur noch als Rudiment übrig geblieben ist für Gefühlsausdrücke, z. B. des Abscheues, des Ekels oder auch zum Ausdruck des bitteren Geschmackes. Weil dieses *r* von den Kutschern gebraucht wird, um die Pferde anzurufen, nennt man es auch Kutscher-*r*. Das zweite *r* wird so gebildet, daß die Zungenspitze sich dem vordersten Teile des Gaumens bzw. den oberen Schneidezähnen etwas nähert, und zwar genau so wie bei der Stellung des *d*. Sie gleitet aber an dieser

Artikulationsstelle sehr flüchtig vorbei, bzw. berührt sie, je nachdem ob man das *r* lang oder kurz macht, häufiger oder seltener. Das *r*, das wir gewöhnlich mit der Zungenspitze sprechen, hat kaum mehr als zwei bis höchstens drei Schläge, oft nur einen. Das dritte *r* besteht eigentlich aus zwei Unterarten, und man nennt es je nach seiner Bildungsstelle Gaumen-*r* oder Zäpfchen-*r*. Das Gaumen-*r* wird so gebildet, daß der weiche Gaumen sich gegen den Zungengrund legt und nun zwischen diesen beiden weichen Platten die ausströmende Luft hindurchdrängt, sie auseinanderdrückt, sie wieder zusammenfallen läßt, sie wieder auseinanderdrückt, sie nochmals zusammenfallen läßt, kurz, in dieser Weise den austretenden Luftstrom mehrfach unterbricht. Das Zäpfchen-*r* dagegen wird so gemacht, daß sich dabei der Zungengrund nur als Gegenlager beteiligt; das Zäpfchen hängt auf den Zungengrund herab, wird vom austretenden Luftstrom in die Höhe geschleudert, sinkt wieder herunter, und so wiederholt sich das Spiel, je nachdem wie lang man das *r* macht.

5. Resonanten.

Die letzte Klasse der Laute besteht endlich aus den sog. Nasallauten oder Resonanten. Nasallaute werden sie genannt, weil der Gaumensegelverschluß bei ihnen aufgehoben ist und der Luftstrom durch die Nase nach außen entweicht, nicht etwa, wie man das ab und zu hören und lesen kann, weil sie nasal klingen. Resonanten heißen sie, weil die drei Verschlußstellen der drei Artikulationsgebiete gewissermaßen den ausströmenden Luftstrom anprallen lassen und ihn resonierend wieder zurückwerfen. Wir fühlen, wenn wir den ersten dieser Resonanten, das *m* machen, ein deutliches Zittern am Lippensaum; wir fühlen das gleiche Zittern an der Zungenspitze, wenn wir das *n* sprechen, und fühlen es endlich an der dritten Artikulationsstelle beim dritten Laut *ng* = *ŋ*.

6. Laute des vierten Artikulationssystems.

Durch Anlegen des Zungengrundes an die hintere Rachenwand entstehen Reibe- und besonders Verschlußlaute, welche einen eigentümlich gutturalen Klang haben. Diese finden sich in den semitischen und in den afrikanischen Sprachen.

7. Kehlkopflaute.

Im Kehlkopf können folgende konsonantische Laute gebildet werden, die schon in ihrer Bildungsweise bekannt sind: 1. Hauchen, ein sehr leiser Reibelaut. 2. Flüstern, ein stärkerer Reibelaut. 3. Der coup de glotte, Stimmknall, der beim festen Vokaleinsatz hörbar wird und auch am Ende eines Vokales bei verschiedenen Sprachen als Kehlkopfstoßlaut bekannt ist.

8. Schnalzlaute (Clixe).

Diese Laute, die in einigen afrikanischen Sprachen vorkommen, werden dadurch gebildet, daß die äußere Luft an irgend einer Stelle des Mundes durch eine Verschlußstelle in die Mundhöhle gezogen wird. Das Einziehen der Luft geschieht nicht etwa durch eine Inspiration, sondern durch Saugbewegungen. Die Mundhöhle ist während der Bildung nach hinten durch Zungengaumenschluß abgesperrt. Die Sprachexspiration ist nur momentan aufgehalten, so daß die Schnalzlaute bei einiger Übung ohne Mühe mit Vokalen verbunden werden können. Scheinbar können Clixe auch mit Stimme gebildet werden, indem gleichzeitig mit dem Schnalz der dritte Nasallaut gebildet wird: in einigen Worten der Nama-Hottentotten, wahrscheinlich auch im *ng* des „Ngamisees".

d) Die Sprachlaute in der Verbindung.

Wir haben in der bisherigen Schilderung uns vorwiegend mit den Lauten der hochdeutschen Aussprache (Bühnendeutsch) beschäftigt. Schon in den einzelnen deutschen Dialekten treten nicht nur wesentliche Veränderungen der Laute ein, sondern auch die gesamte Sprache verändert durch Gesamtänderung der Form des Ansatzrohres ihren Klang: Artikulationsbasis (Sievers und Franke). Sehr auffallend wird diese Veränderung bei fremden Sprachen. Sievers hat zuerst auf diese wichtige Tatsache aufmerksam gemacht, die besonders für die vergleichende Phonetik nicht außer acht gelassen werden darf. Viëtor gibt gegenüber dem Deutschen die Eigenschaften der englischen Artikulationsweise folgendermaßen an: „Die Zunge wird gesenkt, zurückgezogen und verbreitert (abgeflacht), mit Neigung zur konkaven Vertiefung der Vorderzunge, der Unterkiefer schiebt sich etwas nach vorn. Die Lippen beteiligen sich nur wenig an der Lautbildung; sie werden zwar mäßig gerundet, aber weder vorgestülpt noch nennenswert gespreizt (es gilt geradezu als Regel, die Lippen möglichst wenig zu bewegen); der Mund ist nur mäßig geöffnet. Der Kehlkopf steht tief (?) und die Stimme hat einen dunkeln, beinahe dumpfen Klang und wenig Modulation. Die Ausatmung verläuft entschieden decrescendo." Nach der entgegengesetzten Richtung bewegt sich die französische Artikulationsweise: „Die Zunge neigt zu vorgeschobener, enger und bestimmter Artikulation. Die Lippentätigkeit ist ausgeprägt und äußert sich teils im Runden und Vorstülpen oder im Spreizen der Lippen,

teils in energischem Öffnen des Mundes. Bei hohem Kehlkopfstand (?) klingt die Stimme klar und hell; die Modulation läßt die Intervalle verhältnismäßig deutlich hervortreten. Die Exspiration ist gleichmäßiger als im Deutschen und Englischen und neigt zum crescendo . . . . Eine Eigentümlichkeit ist die häufige Nasalierung der Vokale (vor ehemaligen Nasalkonsonanten)." Man vergleiche hierzu Storm, Sweet und Beyer.

Werden so schon alle Sprachlaute durch die gemeinsame Artikulationsbasis beeinflußt, so beeinflussen sie einander in der Lautverbindung.

1. Doppelvokale und Doppelkonsonanten. Die Doppelvokale hat Merkel gut charakterisiert. Wir haben im Deutschen deren drei: *au*, *ai* (= *ei*) und *oi*, *aü* (= *eu* oder *äu*). Bei den Doppelvokalen nimmt der erste Vokal den größten Wert an, der zweite tritt an Dauer und Stärke weit zurück. Der erste Vokal ist demnach der silbenbildende (silbische), der zweite ist unsilbisch. Zwischen beiden Vokalen steht ein Übergangslaut (Gleitlaut, Glide), über den schon früher gesprochen wurde.

Bei den Doppelkonsonanten ist der dem folgenden silbischen Vokal am nächsten stehende auch derjenige, der die größte Artikulationsenergie auf sich zieht. So ist in den Wörtern: Stuhl, Stab, Spiel, spät, schwer, schmal u. a. der sehr laut hörbare *sch*-Laut doch mit weit geringerer Artikulationsenergie gebildet als das ihm folgende *t* bzw. *p*, *w*, *m* usf. Kleine Kinder lassen infolgedessen beim Sprechenlernen den ersten Laut fort und sprechen nur den dem silbenbildenden Vokal unmittelbar voranstehenden Konsonanten: Tuhl, Tab, Piel usw. Diese Beobachtung stimmt mit der von E. A. Meyer experimentell gefundenen Tatsache, daß der stärkste Druck in dem die Silbe einleitenden Konsonanten, also etwas vor dem Silbenvokal liegt, gut überein (s. Meyer, Metrik).

Die Laute wirken nun durch ihre Artikulationen auch mehr oder weniger alterierend aufeinander ein. Ausführlich kann hier auf diese überaus interessanten Verhältnisse nicht eingegangen werden, da sie der speziellen Phonetik angehören. Es wird genügen, nur einige Regeln herauszuheben. Wohl die wichtigste Tatsache ist die, daß wir beim Sprechen nach dem Prinzip der geringsten Anstrengung und der Sparsamkeit in der Bewegung verfahren: treten zwei Laute aneinander, so werden die

ihnen gemeinsamen Bewegungen und Stellungen nur einmal ausgeführt. Besonders bemerkbar ist dies bei homorganen Lauten. Man beobachte die Lautverbindungen in den Worten: und, Hand, Mund, Lampe, halt, ferner das Aneinandertreten von Endlauten mit Anfangslauten: unddu, nottun, hastdu, wenndu, vonneuem usf. Sehr häufig sind die engen Verbindungen von Verschluß- und Reibelauten (Affricatae) *pf*, *ts* = *z*, *ks* = *x*, *ps* = *ψ*, die vielfach eigene Buchstaben in der Schrift erhalten haben. — Fernere charakteristische Erscheinungen sind: die Ausdehnung der Artikulationsbewegung auf den vorhergehenden und folgenden Laut (man denke an die je nach dem anliegenden Vokal ganz verschieden gebildeten *g*, *k*, *ch*), die Beeinflussung der Stimmhaftigkeit, je nachdem der benachbarte Laut stimmhaft oder stimmlos ist, die Mouillierung (Palatisierung), die Rundung (Labialisierung) (erstere durch benachbartes *e* und *i*, letzteres durch benachbartes *u* und *o*) und endlich die sehr wichtige und interessante Nasalierung der Vokale durch benachbarte Resonanten. Für das Italienische hat Panconcelli Calzia diese Nasalierung in exakter Arbeit nachgewiesen. Auch im Deutschen werden besonders kurze Vokale von dem folgenden Resonanten nasaliert; so macht Grützner darauf aufmerksam, daß das *O* des Wortes Onkel deutlich nasal sei. Übrigens sollte die experimentelle Phonetik bei Deutung der Nasalkurven recht vorsichtig sein. Daraus, daß in der nasalen Kurve eine Vibration auftritt, darf nicht gefolgert werden, daß der betreffende Laut nasal sei, da bei einigermaßen empfindlicher Kapsel auch die Vibrationen des Gesichts wiedergegeben werden. Nur aus einer gleichzeitigen Erhebung der Nasalkurven über die Nulllinie kann ein Offenbleiben des Velumverschlusses gefolgert werden. In dieser Hinsicht bedürfen eine große Anzahl der experimentell-phonetischen Untersuchungen sorgfältiger Nachprüfungen.

Wenn Dauerlaute Verschlußlauten folgen, kommen vielfach völlige Umänderungen der Explosion zustande. So tritt eine laterale Explosion in den Verbindungen *dl*, *tl*, *nl*, eine nasale Explosion bei *pm*, *tn*, *kn* nicht selten ein.

Von besonderem Interesse ist die Beeinflussung der Vokale durch nachfolgendes *r* (Viëtor, S. 301). Die hier abgebildete Kurve von *iri* habe ich mit einem kleinen, nach dem Hensenschen Prinzip gebauten Sprachzeichner erhalten. Man sieht zuerst die

sinusartige Kurve des *i*, in der übrigens unter dem Mikroskop zahlreiche Zäckchen erscheinen, dann folgt eine deutliche Umwandlung des *i* in *e* und dann erst die Unterbrechung des *r*. In Wirklichkeit wird also nicht *iri*, sondern *i(ë)ri* gesprochen.



Fig. 90.

2. Silbe, Wort, Satz. Eine einfache Definition des Begriffes „Silbe“ zu geben, ist recht schwierig, obgleich beim Sprechen selbst eine richtige Silbenabteilung ohne Mühe von jedermann gemacht werden kann. Nach Sievers gibt es im Wort bzw. Satz so viele Silben, als Verstärkungen der Exspiration bzw. der Stimme vorhanden sind. Die Grenzen der Silben liegen in den Momenten der schwächsten Exspiration. Man empfindet also als Silbe, was mit einem selbständigen, einheitlichen Exspirationsstoß hervorgebracht wird: Exspirationssilbe, Drucksilbe. Die Sprachsilbe hat einen mehr oder weniger deutlichen Wechsel der Tonhöhe (musikalischer oder tonischer Silbenakzent). Wir werden später sehen, welche außerordentlichen Schwankungen innerhalb einer einzigen Silbe eintreten können. Gerade dieses fortwährende Gleiten der Tonhöhe unterscheidet die gesprochene von der gesungenen Silbe: „Beim Singen verweilt die Stimme ohne Wechsel der Tonhöhe auf jeder Note und springt dann so rasch wie möglich zu der folgenden Note über, so daß der verbindende „Gleitton“ nicht wahrgenommen wird, wenn auch keine wirkliche Unterbrechung des Tones stattfindet. Beim Sprechen dagegen verweilt die Stimme nur gelegentlich auf einer Note, sie bewegt sich vielmehr fortwährend auf und ab, von einer Note zur anderen, so daß die verschiedenen Noten, die wir zur Bezeichnung der Tonhöhe einer Silbe ansetzen, einfach Punkte sind, zwischen denen die Stimme beständig gleitet.“ (Sweet, Handbuch, S. 93 ff., zitiert nach Sievers, S. 207.) Daraus ist von vornherein klar, daß die Perioden der Kurven bei gesprochenen Vokalen fortwährend an Länge wechseln, bei gesungenen Vokalen dagegen stets gleich lang sind. An sich ist

also zwischen dem gesprochenen und dem gesungenen Vokal bezüglich der einzelnen Partialtöne kein Unterschied vorhanden. Daher kann man, wie Hermann mit Recht hervorhebt, von jedem gesprochenen *a* aus unmittelbar in eine Tonleiter übergehen. Der Unterschied zwischen gesungener und gesprochener Artikulation liegt ausschließlich darin, daß Notenhöhe, Intensität und Dauer der Silben „beim Gesange durch Melodie und Takt, beim Sprechen durch die Betonungsgesetze des Sinnes und der Konstruktion beherrscht werden" (Hermann).

Zum Wort wird die Silbe oder die Verbindung mehrerer Silben, wenn sie einen Begriff darstellt, unter Satz versteht man am besten mit Sievers jede selbständig gesprochene Äußerung, d. h. jede in sich geschlossene Lautmasse, die in einem gegebenen Zusammenhang, sei es der Rede, sei es der Situation überhaupt, einen bestimmten Sinn zum Ausdruck bringen soll und in diesem bestimmten Sinne vom Hörer verstanden wird. Es gibt demnach Sätze, die nur aus einer Silbe bestehen: ja, nein, hier, dort. In einem mehrsilbigen Satze hebt die Lautsprache durch den Akzent das Wesentliche heraus und vermag damit dem Satze einen ganz verschiedenen Sinn zu erteilen. Sievers wählt als Beispiel den Satz: „Er hat das Buch". Der Sinn ändert sich, je nach dem Worte, das den Hauptton trägt; ér hat das Buch, er hát das Buch, er hat dás Buch, er hat das Búch — jeder Satz erweckt ganz verschiedene Vorstellungen und Assoziationen in mir. Die Schrift kann dieser Leichtbeweglichkeit der Lautsprache nur mühselig und mit Krücken folgen.

3. Akzente der Sprache.

Man unterscheidet drei Akzente im Sprechen: den musikalischen Akzent, den dynamischen Akzent und die Dauer der Silben, die Quantität oder besser den temporalen Akzent. Am besten studiert sind bisher der musikalische und der temporale Akzent, mangelhaft dagegen ist bisher die Untersuchung des dynamischen Akzentes ausgefallen, und zwar besonders deshalb, weil wir kein zuverlässiges Mittel haben, um diesen Akzent einwandfrei zu messen. Das ist um so seltsamer, als wir mit dem Gehör gerade den dynamischen Akzent außerordentlich leicht auffassen, wenngleich er nicht selten mit dem musikalischen verwechselt wird.

a) Der musikalische Akzent.

Der musikalische oder tonische Silbenakzent ist die Tonbewegung innerhalb der einzelnen Silbe; die Unterschiede der absoluten oder durchschnittlichen Tonhöhe der einzelnen Silben im Worte oder Satze ergeben den musikalischen oder tonischen Wort- und Satzakzent. Innerhalb der Silbe sind nach Sievers drei Hauptformen dieses Akzentes zu erkennen: der ebene, der steigende und der fallende; dazu kommen noch Kombinationen: z. B. der steigend fallende und der fallend steigende Akzent. Sehr wichtig sind die tonischen Silbenakzente im Chinesischen, in verschiedenen afrikanischen, aber auch in einigen europäischen Sprachen, z. B. im Serbischen, Litauischen und Schwedischen.

Der musikalische Wortakzent ist durchaus unabhängig vom dynamischen Akzent; man vergleiche die Tonhöhen im Worte „mórgen“ in den beiden Sätzen: „ich komme morgen“ und „kommst du morgen?“. Gewöhnlich geht allerdings im Deutschen der Stärkeakzent dem tonischen parallel. Bei der Bestimmung des Wortakzentes geht man am besten von der tiefsten Silbe aus, von hier aus mißt man die Intervalle; ferner ist die Richtung der Stimmbewegung in den einzelnen Silben zu beachten. Im Deutschen und Englischen herrscht der fallende, im Norwegischen und Schwedischen der steigende Akzent vor.

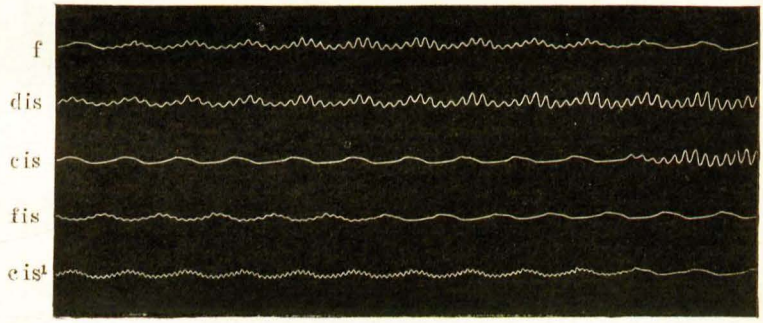
Beim musikalischen Satzakzent kann man mit Sweet und Sievers drei Stimmlagen annehmen: eine hohe, eine tiefe und eine mittlere, die je nach dem Inhalt des Gesprochenen, dem Alter und Geschlecht, dem Gemütszustande des Sprechenden verschieden sind. Danach schwankt die Tonhöhe und, soweit die Tonstärke von gleichen Umständen beeinflußt wird, auch die Tonstärke beim gewöhnlichen Redefluß hin und her. Daß die experimentelle Psychologie diesen Umstand zu ihren Arbeiten benutzt, ist naheliegend. Näheres ist bei Wundt nachzulesen, ferner in den Arbeiten von Krüger, Wirth, Marbe, Scripture u. a. Von früheren Arbeiten verweise ich besonders auf das höchst interessante Buch von Bourdon.

Der musikalische Akzent wird graphisch registriert und ausgemessen unter anderem durch den Rousselotschen Apparat. Rousselot fand dabei folgende Regeln: 1. Jeder Vokal kann in verschiedenen Silben mit stark wechselnder Tonlage gesprochen

werden; ihm kommt kein fester Stimmton zu. 2. Die Konsonanten werden gewöhnlich etwas tiefer gesprochen als die Vokale. 3. Die Nähe eines Vokals erhöht die Tonlage des Konsonanten, die Nähe des Konsonanten erniedrigt die Tonlage des Vokals. 4. Der musikalische Akzent liegt meist auf derjenigen Silbe, die auch schon durch den dynamischen Akzent hervorgehoben wird.

Ich selbst bediente mich zur graphischen Untersuchung der Sprechtonhöhe des vor kurzem von Krüger und Wirth in dem Wundtschen Laboratorium angegebenen Kehltonschreibers. Mehrfach habe ich meine vorher mit dem Gehör festgestellte Tonlage durch die mit Graphik bei demselben Individuum ge-

Fig. 91.



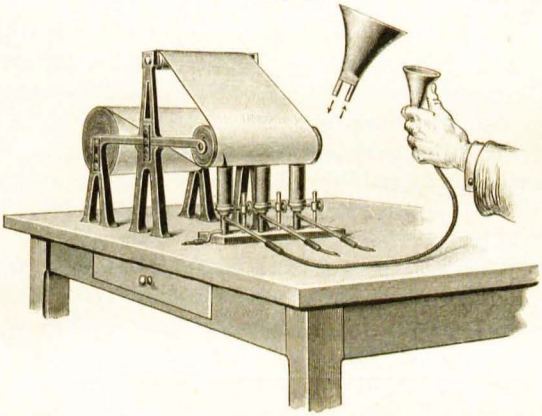
Die großen Wellen zeigen $^1/_{25}$ Sekunden an; die darauf gezeichneten kleinen Wellen geben die Tonhöhe gesprochener Laute wieder, die durchschnittlich festgestellte Tonhöhe ist den Kurven links vorgeschrieben.

wonnene verglichen und so meine eigenen Hör- und Bestimmungsfehler zu messen gesucht. Natürlich mußte zur Untersuchung die zu untersuchende Person genügend daraufhin vorbereitet werden, daß sie bei der instrumentalen Untersuchung möglichst ebenso sprach wie vorher, als bei ihr, ohne daß sie es wußte, die Tonhöhe festgestellt wurde, und des ferneren habe ich während der graphischen Untersuchung selbst die Tonhöhe auch mit dem Ohre festzustellen gesucht. Bei den Auszählungen ergab sich nun, daß ich z. B. in einem Falle, in dem das Wort „Adieu" in etwas lebhaft rufender Weise gesprochen wurde, mit dem Ohre die Tonhöhe bestimmte auf $A — d'$; die Schwingungszahl des A

beträgt ungefähr 108, die des eingestrichenen *d'* 290 Schwingungen in der Sekunde. Mittels des Kehltonschreibers zeigte sich, daß der Sprechende auf die Silbe *a* 114 Schwingungen, auf die Silbe *ö* 304 Schwingungen gemacht hatte. Meine Gehörfeststellung hatte sich für die erste Silbe um 6 Schwingungen, für die zweite um 14 Schwingungen geirrt, gewiß eine sehr geringe Differenz.

Die nebenstehende Fig. 91 mag als Beispiel für die direkte Aufnahme der Stimmvibrationen dienen. Ich habe die Aufnahme dadurch sehr vereinfacht, daß ich die Zeitmarkierung mit den Vibrationen in eine einzige Kurve vereinigte. Läßt man irgend

Fig. 92.



einen Zeitschreiber (Stimmgabel, Engelmannsches Chronoskop) $^1/_{25}$ Sekunden auf den Kehltonschreiber übertragen und mittels T-Rohres gleichzeitig die Stimmvibrationen, so entstehen die zierlichsten Figuren, in denen man die gesprochenen Tonhöhen sehr leicht findet, wenn man die kleinen Zacken einer großen Schwingung auszählt und mit 25 multipliziert.

Eine sehr bequeme Anwendung kann man von dem Marbeschen Verfahren bei Feststellung des musikalischen Akzentes machen. Auf der Fig. 92 sieht man, wie die drei schon öfters erwähnten Acetylenflammen auf einem an ihnen vorbeigeführten Streifen Papier (von 400 m Länge) ihre Rußringe verzeichnen. Die erste Flamme dient zur Aufzeichnung der Stimmvibrationen, die mit

dem kleinen, von dünner Kautschukmembran überzogenen Trichter aufgenommen werden, die zweite Flamme kann zur Verzeichnung des dynamischen Akzentes (einfache Übertragung der betonten Silbe durch Handdruck), die dritte zur Registrierung einer Stimmgabel von 100 Schwingungen in der Sekunde benutzt werden. Da die Flamme überaus empfindlich ist, so kann man in gewöhnlicher Stimmstärke des Unterhaltungstones sprechen. Auch die leisesten Töne werden wiedergegeben.

Bei der Benutzung des Phonographen und auch des Hensenschen Sprachzeichners ist das nicht der Fall, und da die Tonstärke gewöhnlich auch die Tonhöhe beeinflußt, so sind die auf diese Weise gewonnenen Darstellungen der musikalischen Akzente nicht einwandfrei.

Martens untersuchte mit dem Hensenschen Sprachzeichner sechs männliche, drei weibliche und vier kindliche Stimmen. Um möglichst große Mannigfaltigkeit des Verhaltens der Stimme hervorzurufen, nahm er Sätze wie: Vater und Mutter — der Donner rollt — mein kleines Kind — o du mein alles — lauf, mein Kind — o nein (abweisend) — o nein (vorwurfsvoll) — hübsche Häuser — was gibts dort? — back süßes Brot — komm, armes Kind. — Die Resultate seiner Untersuchungen faßt er folgendermaßen zusammen: „Die Vokale halten sich im ganzen wohl in mittlerer Stimmlage; vielleicht neigen sie etwas mehr nach der tieferen Seite zu. Wenigstens konnte ich in drei zuverlässigen Fällen — die übrigen Untersuchungen mißlangen wegen der ungenügenden musikalischen Bildung oder der jugendlichen Ungeschicklichkeit der Untersuchten —, in welchen ich die Singstimme mit der Sprechstimme vergleichen konnte, konstatieren, daß der mittlere Sprechton tiefer lag als der mittlere Sington."

„Mittlerer Sington: 265 — 350 — 450 Schwingungen pro Sekunde; mittlerer Sprechton: 186 — 280 — 330 Schwingungen pro Sekunde."

„Es beträgt diese Differenz ungefähr zwei bis drei Intervalle einer Oktave. Diese Differenz wird vielleicht noch etwas vergrößert, wenn ganz natürlich und nicht mit lauterer Stimme als gewöhnlich gesprochen wird. Bei meinen Untersuchungen war es aber oft notwendig, lauter zu sprechen, und dadurch wurde natürlich der Ton etwas in die Höhe getrieben. Mithin fiel auch der mittlere Sprechton höher aus."

„Im übrigen umfassen die Vokale den ganzen Stimmbereich und gehen sogar, nach der Tiefe zu wenigstens, etwas über diesen hinaus.“

„Die Zeitdauer, in welcher ein Vokal in einem Worte gesprochen wird, betrug in 91 Fällen in maximo 0,549″, in minimo 0,038″. Als Durchschnitt ergab sich für die Zeitdauer eines gesprochenen Vokals 0,182″. Als größte Anzahl der Wellen des Grundtons in einem Vokal zählte ich 303. Die geringste war 10. Als Durchschnitt stellte sich die Zahl 46 heraus.“

„Die Schwankungen der Tonhöhe, welche der Vokal im einzelnen Worte zeigt, sind sehr verschieden. Als Beispiele will ich einige Extreme anführen. So kommen Schwankungen in der Tonhöhe vor, die eine ganze Oktave und mehr umfassen. Es geht z. B. beim *o* in Nr. 17 der im Anhang angefügten Tabellen der Ton in ziemlich gleichmäßiger Ansteigung allmählich von der Schwingungszahl 151 bis 313, d. h. etwa von *dis* bis *e″* in die Höhe. Ähnliches finden wir beim *a* in Vater in Nr. 12 und beim *au* in lauf in Nr. 20. Beim *a* in Mokka in Nr. 25 und beim *e* in Mutter in Nr. 12 sinkt die Tonhöhe in beiden Fällen um ungefähr eine Oktave. Im Gegensatz zu diesen findet sich auch in einzelnen Fällen eine nur ganz geringe Schwankung in der Vokalhöhe. So hat dieselbe in Nr. 4 beim *a* in Vater nur einen Umfang von *ais* bis *h*, 220 bis 227, und in Nr. 13 beim *u* in „und“ einen Umfang von *a′* bis *h′*, 431 bis 453. Als Mittel für die Schwankungen in der Tonhöhe der einzelnen Vokale in gesprochenen Worten wurden zwei bis drei Intervalle einer Oktave gefunden. Eine Regel, nach welcher diese Schwankungen erfolgen, scheint nicht vorhanden zu sein. Bald geht die Tonhöhe während der Dauer eines Vokals hinauf, bald fällt sie ab. Recht häufig kommt es auch vor, daß der Vokal bis zur Mitte seiner Dauer in der Tonhöhe hinaufgeht; aber auch das Gegenteil ist wohl ebenso häufig zu beobachten. Auch variiert die Art des Steigens und Fallens sehr erheblich, und bald steigt oder sinkt der Ton ganz allmählich, bald geht dies sehr plötzlich und in großen Sprüngen vor sich. Alle diese Verhältnisse sind aus der beigegebenen Tafel, auf welcher Beispiele in der Schwankung der Vokalhöhe graphisch dargestellt sind, leicht ersichtlich.“

„Die Kurven ergeben, daß es unserem Ohr im allgemeinen nicht möglich sein kann, die Tonhöhe eines gesprochenen Vokals

genau zu bestimmen, teils deshalb, weil überhaupt der Grundton oft nur sehr schwach hervortritt, namentlich aber, weil der Ton sich gar nicht oder nur ganz kurze Zeit auf gleicher Höhe hält."

Einige der oben angeführten Tabellen gebe ich hier wieder, da ihre Auszählungen gewiß von allgemeinstem Interesse sind.

„Oh du mein alles", gesprochen von einem 29jährigen Mann *o* in „*oh*" *e'b — hb — dis*			
+ 38 Proz.		— 33 Proz.	
1	1	151	259
2	1	161	267
1	10	176	?
1	2	160	267
1	2	181	268
8	2	?	281
1	2	201	283
1	2	216	273
1	2	216	268
12	2	?	283
1	2	241	290
2	20	?	?
1	2	245	313
4	2	?	313
1	2	259	302
Sa. 92		Mx. 313	
t 0,364″		D. 227	
		Min. 151	

a in Vater, gesprochen von einem 29jährigen Mann *d'b — gis — e*			
+ 36 Proz.		— 20 Proz.	
1	8	165	?
3	1	161	216
1	1	168	224
1	1	168	227
1	6	165	?
1	1	170	273
7	1	?	271
1	1	157	273
1		201	
Sa. 37		Mx. 273	
t 0,183″		D. 200	
		Min. 161	

Meines Erachtens macht F. Krüger mit Recht darauf aufmerksam, daß die Art und Weise der Wortzusammenstellungen, welche Martens wählte, ohne Rücksicht auf das, was die Sprechenden sich dabei denken mochten, zu den widersprechenden Resultaten der Tonhöhenschwankungen geführt hat. Wörter und Sätze sind eben nicht die gleichen, wenn sie als Ausdruck verschiedener psychischer Zustände gewählt werden, wie ja auch bei dem Ausdruck „o nein" der Untersucher eine solche Unterscheidung herzustellen versucht hat. Interessant ist auch das Ergebnis von Martens in bezug auf die Diphthonge. Er erinnert daran, daß Merkel

bei den Diphthongen drei Momente unterscheidet: den Einsatz oder Anlaut, den Absatz oder Auslaut und den zwischen beiden liegenden Übergang oder Umlaut, den er als gleichsam den neutralen Punkt zwischen beiden Vokalgebieten, die den Diphthongen konstruieren, bezeichnet. Diese Theorie bestätigen Martens Kurven, welche in der Tat ergeben, daß zwischen dem anlautenden und auslautenden Vokal des Diphthongen ein mehr oder weniger langer Übergang vorhanden ist (Merkels Umlaut, den er als unbestimmten Vokal bezeichnen möchte; er ist natürlich identisch mit dem früher erwähnten. Gerdes, Gleitlaute).

Boeke benutzte den Phonographen. Die durchschnittliche Periodenlänge und Stimmnoten der gesprochenen Vokale einer Frau gibt folgende Tabelle wieder:

Periodenlänge und Stimmnote gesprochener Vokallaute (Frau, Sopran).

Holländisch	Übersetzung	Periodenlänge	Stimmnote	Schwingungszahl
De	Die	27,5	$> dis'$	293
ze	se	30	$< c'$	269
Klin	Vokale	28,7	$> d'$	281
kers	Vokale	30,5	$< c'$	264
zijn	sind	26,5	dis'	304
ge	ge	35	$< ais$	230
zon	sun	27	dis'	298
gen	gen	34	$> b$	234
te	zu	31	$< c'$	260
Am	Am	27,5	$< d'$	293
ster	ster	36	ais	224
dam	dam	26,5	dis'	304
op	auf	29	$c' — cis'$	278
een	ein	27	dis'	298
Maart	März	25,5	e'	316

Das Lachen hat Boeke ebenfalls phonographisch aufgenommen und berechnet, und zwar in seiner eigenen Stimme (s. Tabelle). Die Gesamtdauer des Lachens war 0,712, die der Pausen 1,998, zusammen 2,71 Sekunden; während Boekes Stimmnote beim gewöhnlichen Sprechen kaum um eine Terz (*fis* bis *a*) variierte, lag die tiefste Note beim Lachen noch etwas höher als

die höchste Grenze beim Sprechen, wobei die Stimmnote nahezu um eine ganze Oktave a' bis ais differierte. Ähnlich starke Wechsel der Stimmnote wie beim Lachen fand er beim Ausrufen.

Dauer und Stimmnote des Lachens (Mann).

Nummer des „Ha"-Lautes	Dauer desselben in Sekunden	Dauer d. Pause in Sekunden	Anzahl der Perioden d. „Ha"	Stimmnote
1	0,097	0,178	37	381 g'
2	0,073	0,160	31	424 a'
3	0,088	0,161	32	384 g'
4	0,070	0,174	21	298 dis'
5	0,054	0,198	14	261 c'
6	0,041	0,186	10	244 b
7	0,051	0,180	12	243 b
8	0,051	0,200	12	243 b
9	0,054	0,188	12	223 ais
10	0,044	0,194	10	230 ais
11	0,046	0,189	11	238 b
12	0,049	—	11	226 ais

b) Der dynamische Akzent.

Nach Pipping, dem Zwaardemaker sich anschließt, beruht der dynamische Akzent in der Hervorhebung einer Silbe mittels eines intensiveren akustischen Eindruckes. Dies wird durch zwei Umstände bewerkstelligt: α) durch kräftigere und bestimmtere Artikulation, β) durch größere lebendige Kraft der Schallwellen. Benutzt man den sehr kompendiösen, schon beschriebenen Apparat von Zwaardemaker zur Aufnahme der Artikulation, so gelingt es in der Tat, wenn auch nicht absolute, so doch relative Maße der Bestimmtheit und Kraft der Artikulation festzustellen. Dies wird besonders dann deutlich, wenn man ein und dasselbe Wort einmal mit schwacher Artikulation, das zweite Mal mit scharfer Aussprache aufnimmt. Besonders dort, wo infolge fehlerhafter Sprachweise exzessive Verschiebungen des dynamischen Akzentes statthaben (die Sprache der Stotterer, die exzessive Artikulation der Taubstummen), bewährt sich der Zwaardemakersche Apparat sehr gut. Man darf aber niemals vergessen, daß es sich um relative Verschie-

bungen handelt. Auch die Stellung und Bewegung des Kehlkopfes könnte als Ausdruck der Intensität benutzt werden, wenn dabei eine gewisse Regelmäßigkeit in der Richtung stattfände. Aber die stärkeren Abweichungen von der Indifferenzlage erfolgen nur in lebhaftem Sprechen, die geringen Abweichungen des ruhigen Sprechens sind unsicher und vieldeutig (s. oben S. 152). Die Intensität, die Tragweite der einzelnen Laute bestimmte O. Wolf in einer sehr eingehenden Untersuchung.

Die Verstärkung des Exspiriums wurde zuerst von Rosapelly mit der Mareyschen Kapsel aufgenommen, Rousselot benutzte einen Kautschuktubus, Zwaardemaker und Shaw eine Windfahne — letzterer befestigte sie auf einer Magnetnadel —, Viëtor einen kurzen Schlauch ohne Trichter und E. A. Meyer einen Schalltrichter mit Schreibkapsel. Der Rückschluß aus der Größe des Ausschlages auf die Intensität der Stimme — und darauf kommt es doch wesentlich an — ist sehr unsicher, da auch bei verengter Mundspalte der Luftstrom eine größere Geschwindigkeit und größere lebendige Kraft erhält als bei weit offener, während die Anblasung der Glottis mit gleicher Kraft stattfindet (Zwaardemaker). Nur wenn man die gleiche Vokalstellung benutzt, lassen sich vergleichbare Kurven gewinnen, so Viëtors „Du", das er 1. mit behauptendem, 2. mit fragendem, 3. mit ärgerlich widersprechendem, 4. mit drohendem Tone aufnahm.

Die Messung der Intensität des geflüsterten Luftstromes nahm Lucae mit seinem Phonometer, der eine Art von Pendelanemometer darstellt, vor. Der jetzt von Lucae umgeänderte Apparat, den er Tonometer nennt, besteht aus einer 5 cm im Durchschnitt haltenden Anemometerplatte, die, leicht beweglich an einem Rahmen aufgehängt, ihre Ausschläge mittels eines kleinen Zeigers auf einem Gradbogen anzeigt. Der Apparat wird gegen die Nasenwurzel des Sprechenden angestützt, so daß die Anemometerplatte sich immer in dem gleichen Abstand vom Munde befindet.

Mittels eines Pendelanemometers bestimmte C. Reuter die lineare Geschwindigkeit der beim Flüstern aus dem Munde hervorkommenden Luftströmung auf 9 bis 26 m pro Minute. Die im Munde selbst entstehenden Luftströmungen (Zyklonen) hat Gellé zu verfolgen gesucht, indem er auf glatten Stäbchen kleine Papierscheibchen durch die Luft hin und her treiben ließ. Er zeigte, daß die Scheibchen sich an gewissen Stellen nach dem Innern

der Mundhöhle zu verschoben. Die Luftströmungen in der Mundhöhle bei *a* untersuchte Noyons mittels Manometer, die er mit Röhrchen verband, die zuvor in die Strömungsrichtung gestellt waren. Zwaardemaker gibt (Pflügers Archiv 1906, S. 441) eine Abbildung von den mannigfachen Strömungsrichtungen.

Berechnungen des Energieaufwandes bei verschiedener Art der Stimmanwendung nahmen Zwaardemaker, Webster u. a. vor. Ersterer fand den Energieaufwand bei dem Volksliede „Wilhelmus van Nassauen" zu $0{,}45 \cdot 10^6$ Erg. pro Sekunde, bei einem Staccato zu $0{,}98 \cdot 10^6$. (Gesungen von Frl. van Zanten.)

Zwaardemaker registrierte endlich die Strömungsgeschwindigkeit mittels seines „Aerodromographen", eines mit dem Pitotschen Röhrchen verbundenen, in Ligroin schwimmenden Gelatinspirometerchens, das an einer Wage äquilibriert aufgehängt war.

In ganz eigenartiger Weise suchte derselbe Autor die akustische Intensität der menschlichen Sprechstimme festzustellen, indem er nach Boeke die phonographische Glyphik einiger Vokale analysierte und die aus der Analyse hervorgehenden Partialtöne dann in ihrer analysierten Intensität von Orgelpfeifen ertönen ließ. Dann stellte er die von den Pfeifen verbrauchte Energie fest, summierte diese Energien, die dann die Gesamtintensität des gesprochenen Vokals darstellen sollten. Zwaardemaker selbst gibt aber zu, daß die Intensität des eigentlichen Stimmtones bei dieser Art der Berechnung fehle (s. oben S. 108), und daß dieser so nicht berechenbar sei. Er glaubt, daß die Gesamtintensität dadurch nicht wesentlich beeinflußt sei: „Jedenfalls ist in dieser Weise eine ungefähre Schätzung der akustischen Intensität der menschlichen Stimme möglich, wenn dieselbe mit mäßigem Akzent den Vokal eines einsilbigen Wortes ausspricht." Man sieht, welche außerordentliche Einschränkung auch dieses Verfahren hat.

Rosengrens Behauptung, daß der dynamische Akzent mit der Quantität identisch sei, ist von Jespersen und Panconcelli-Calzia mit Recht zurückgewiesen worden.

c) Der temporale Akzent.

Die Messung der Zeitdauer der einzelnen Vokale, als Hauptrepräsentanten der Silbe, die Vergleichung der Vokale untereinander, ist nicht schwer, wenn man zunächst Worte wählt, die nur tonlose

Konsonanten haben, so daß man nur die Vibrationen der Kurven zu messen braucht, um sofort die Vokallänge zu haben. Das kann man sehr bequem mit dem Krüger-Wirthschen oder mit dem Marbeschen Kehltonschreiber. Natürlich kann man ebenso gut — mit Berücksichtigung der schon erwähnten Nachteile — den Phonographen dazu benutzen. Setzt man die Walze in den S. 85 abgebildeten Boekeschen Apparat, so ist an dem seitlichen Rade (auf der Figur rechts) ohne weiteres die Länge des Vokals abzulesen und in einfachster Weise zu berechnen. Man hat auch versucht, die Länge der Konsonanten in ähnlicher Weise festzustellen, ist aber wohl dabei zu irrtümlichen Resultaten gelangt. Man kann diese Dauer nicht einfach daraus schließen, wie lang der Zeitabstand zwischen zwei Vokalen ist. Eine solche Berechnungsart ist völlig irreführend. In dieser Weise hat z. B. Verschuur in seiner sonst so vortrefflichen Arbeit die Konsonantendauer berechnet: „De duur der intervocalischen consonanten werd bereknet uit den afstand tusschen het eindpont der voorgaande en het begin der volgende vocaal.“ Natürlich wird man auch nicht nur den akustischen Effekt der Konsonanten messen dürfen, also bei *p*, *t*, *k* nur die Explosion, da ja auch die Implosion für diese Laute notwendig ist und Dauer beansprucht. Dagegen dürfen die Übergangszeiten vom Vokal zum Konsonanten, die den „Glides“ angehören, nicht den Konsonanten zugerechnet werden. Man wird demnach stets drei Zeitabschnitte unterscheiden müssen: 1. Vokaldauer, 2. Konsonantendauer, 3. Übergangsdauer vom Vokal zum Konsonanten und umgekehrt. Verschuur fand bei seinen Messungen trotz der Nichtberücksichtigung des oben Gesagten doch noch die Konsonanten wesentlich kürzer als die Vokale; die kurzen Vokale dauern von 0,064 bis 0,161 Sek., die langen Vokale von 0,174 bis 0,310 Sek., die Konsonanten dagegen von 0,025 bis 0,122 Sek. Wenn man aber die Dauer der einzelnen Konsonanten vergleicht und folgende Resultate findet:

$r = 0{,}025$	$v = 0{,}094$
$l = 0{,}028$	$k = 0{,}100$
$h = 0{,}062$	$t = 0{,}109$
$n = 0{,}066$	$s = 0{,}112$
$m = 0{,}084$	$p = 0{,}122$

so ist es klar, daß die Messung nach dem oben genannten Prinzip falsch sein muß, da auf diese Weise die Dauer der uns so kurz er-

scheinenden Verschlußlaute p, t, k die längste sein würde. Ebenso sind die Messungen der Konsonanten von Gallée zu beurteilen.

Dagegen sind die Messungen der Vokaldauer gut verwendbar und, wenn man die Vokale scharf begrenzen kann, für die Ermittelung des temporalen Akzentes gut zu benutzen. In dieser Weise ist Martens verfahren und hat aus Tonhöhe als Ordinaten und Dauer als Abszissen sehr übersichtliche Bilder des Sprachakzentes gewonnen.

Daß die Wirkung des musikalischen Akzentes von der Dauer des betreffenden Tones innerhalb der Silbe abhängt, ist klar. Pipping hat daher aus musikalischem Akzent und Dauer einen zahlenmäßigen Ausdruck der musikalischen Betonung zu bestimmen gesucht.

Zwaardemaker und Gallée fanden bei den Messungen der Vokalklänge in $^1/_{100}$ Sek. des deutschen Satzes: „lasse zum fröhlichen Tanze dich laden", wenn der Satz von einem Rheinländer gesprochen wurde, folgende Dauer der Vokale:

	lass e	zum	fröhl ich en	Ta nze	dich	la den	Total des Satzes
1.	12 21	11	10 10 —	12 18	25	20 —	380
2.	10 22	12	10 9 —	12 17	24	20 —	370
3.	12 20	10	10 9 7	15 17	18	14 10	360
4.	12 18	10	10 10 9	13 17	18	12 10	360

Derselbe Satz ergab, von einem Norddeutschen gesprochen, folgende Werte:

1.	12 20	19	18 10 10	20 8	13	15 2	450
2.	20 28	11	10 10 7	15 7	16	30 15	470
3.	15 30	10	11 8 7	16 5	18	30 28	480
4.	16 18	15	14 14 10	20 12	11	18 10	460

Dies Beispiel wird genügen, um zu zeigen, wie sich auch in der Silben- bzw. Vokaldauer deutliche individuelle Unterschiede ausprägen, sowohl im einzelnen Wort wie im ganzen Satz.

4. Die phonetische Schrift.

Der phonetischen Schriftzeichen gibt es so zahlreiche und nach so verschiedenen Prinzipien konstruierte, daß es den Raum

dieser Schrift bei weitem überschreiten würde, wollte ich auch nur annähernd von den Systemen der einzelnen Phonetiker Bericht geben. Ich verweise nur kurz auf die phonetische Schrift von Brücke, Merkel, Thausing, Du Bois-Reymond u. a., wo die Zeichen der gewöhnlichen Schrift entweder willkürlich umgeändert wurden, oder Noten für Buchstaben eingesetzt waren u. a. m. Die wirkliche Stellung der Sprachwerkzeuge beim Sprechen suchten Whipple und H. Gutzmann wiederzugeben, jedoch sind diese Zeichen nur für bestimmte Zwecke zu schreiben, aber kaum zu drucken, wenn man nicht ganz neue Drucktypen schaffen will.

Jespersen hat in anderer Weise die Aufgaben einer phonetischen Schrift zu lösen versucht, indem er die Teile, ihre Stellung und den Grad ihrer Berührung bzw. Entfernung durch Buchstaben und Zahlen bezeichnete, so daß eine Art von Formeln geschrieben wurde. Das Nähere ist in den Jespersenschen Schriften und bei Viëtor S. 15 nachzulesen.

Für den praktischen Gebrauch ist am besten das Alphabet der Association phonétique internationale, das leicht geschrieben, in größeren und kleineren Typen gedruckt werden kann und bereits eine sehr große Verbreitung gefunden hat. Ich lasse hier einige Beispiele der deutschen, französischen und englischen Transkription in verschieden großen Typen folgen:

Möpschen und Spitzchen[1]).

Möpschen: „Hör', Spitzchen, ich will dich was fragen,
Du sollst mir ganz heimlich sagen:
Wo hast du den schönen Knochen versteckt,
Daß ihn kein böser Dieb entdeckt?"

Spitzchen: „Nein, Möpschen, ich schweige lieber still;
Der Dieb ist's eben, der's wissen will."

Das Möpschen hat gesucht und gerochen,
Bis hinter dem Stall es fand den Knochen;
In seiner Schnauze hat es ihn schon,
Da bekam es gar einen schlimmen Lohn:
Herr Spitz, der faßt' es so derb am Kragen,
Da lief es davon mit Schreien und Klagen. Hey.

[1]) Aus W. Viëtor, Deutsches Lesebuch in Lautschrift. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.

ˈmɔpsçɔn | ʔʊnt ˈʃpɪtsçɔn.

ˈmɔpsçɔn: ‖ „ˈhoːr, ‖ ˈʃpɪtsçɔn, ‖ ʔɪç vɪl dɪç vas ˈfraːᵍ/ᵍɔn, ‖
duː ˈzɔlst miːr | gants ˈhaimlɪç | ˈzaːᵍ/ᵍɔn: ‖
ˈvoː | hast duː deːn ˈʃoːnɔn | ˈknɔxɔn fɛrʃtɛkt, ‖
das ʔiːn kain ˈboːzɔr | ˈdiːp ʔɛntdɛkt ʔ“ ‖
ˈʃpɪtsçɔn: ‖ „ˈnain, ‖ ˈmɔpsçɔn, ‖ ʔɪç ʃvaiᵍ/jɔ liːbɔr ˈʃtɪl; ‖
deːr ˈdiːp ʔɪsts ʔeːbɔn, | deːrs ˈvisɔn vɪl.“ ‖

das ˈmɔpsçɔn | hat gɔˈzuːxt | ʔʊnt gɔˈrɔxɔn, ‖
bɪs hɪntɔr deːm ˈʃtal | ʔɛs ˈfant deːn knɔxɔn; ‖
ʔɪn zainɔr ˈʃnautsɔ | ˈhat ʔɛs ʔɪːn ʃoːn, ‖
daː bɔˈkaːm ʔɛs | ˈgaːr | ʔainɔn ˈʃlɪmɔn | ˈloːn: ‖
hɛr ˈʃpɪts, deːr ˈfast ʔɛs | zoː ˈdɛrp | ʔam ˈkraːᵍ/ᵍɔn, ‖
daː ˈliːf ʔɛs | daːˈfɔn ‖ mɪt ˈʃraiɔn | ʔʊnt ˈklaːᵍ/ᵍɔn.
ˈhai.

The idea of power, at first view, seems of the class of those indifferent ones which may equally belong to pain or to pleasure. But in reality, the affection arising from the idea of vast power is extremely remote from that neutral character. For first, we must remember that the idea of pain, in its highest degree, is much stronger than the highest degree of pleasure; and that it preserves the same superiority through all the subordinate gradations [1]).

ðiː aidiə əv ˈpauə, ət ˈfəːst ˈvjuː, ˈsiːmz əv ðə ˈklɑːs əv ðouz inˈdifrənt wʌnz witʃ mei iːkwəli bɪlɔŋ tə ˈpein ɔː tə ˈpleʒə. bət in riˈæliti, ðiː əˈfekʃən əˈraiziŋ frəm ðiː aidiə əv ˈvɑːst ˈpauə iz ɪksˈtriːmli rɪˈmout frəm ðæt ˈnjuːtrəl ˈkærəktə. fə ˈfəːst, wiː məst rɪˈmembə ðət ðiː aidiə əv ˈpein, in its ˈhaiɪst dɪˈgriː, iz ˈmʌtʃ ˈstrɔŋgə ðən ðə ˈhaiɪst dɪgriː əv ˈpleʒə; ənd ðət it prɪzəːvz ðə ˈseim sjuːpiəriˈɔriti θruː ˈɔːl ðə səˈbəːdənɪt grəˈdeiʃnz.

[1]) Aus Daniel Jones, Phonetic transcriptions of English prose. Oxford at the Clarendon Press 1907.

Jean qui pleure et Jean qui rit [1]),
C'est le soleil et la pluie
Gai toujours, l'un réjouit,
Toujours plaintif, l'autre ennuie.
Ha! ha! hi! hi!
Jean qui rit a ri;
Hu! hu! heu! heu!
Voilà Jean qui pleure.

Maxime. Ne présente jamais qu'un visage bien net et de bonne humeur.

ʒũ ki ˈplɔːr e ʒũ ki ˈri,
s ɛ l sɔˈlɛːj e la ˈplɥi.
ge tuˈʒuːr, l õ reˈʒwi,
tuʒuːr plẽːˈtif, l oːtr ũːˈnɥi.
ˈa! ˈa! ˈi! ˈi!
ʒũ ki ri a ˈri;
ˈy! ˈy! ˈø! ˈø!
vwala ʒũ ki ˈplɔːr.

makˈsim. **nə prezũːt ʒaˈmɛ k õ vizaːʒ bjẽ ˈnɛt e d bɔn yˈmɔːr.**

---

[1]) Aus Daniel Jones, Poésies enfantines, recueillies et mises en transcription phonétique. Leipzig, B. G. Teubner, 1907.

Bezüglich der einzelnen Zeichen der drei Texte sei noch folgendes bemerkt. Im deutschen Text steht das Zeichen ʾ für den festen Vokaleinsatz, ç = vorderem ch, x = hinterem ch. Im englischen und französischen Text sind die Hilfszeichen wohl ohne weiteres verständlich. Der Ton wird bei allen Texten durch ein vor der betonten Silbe stehendes ˈ, die Dehnung durch das nach dem gedehnten Vokal stehende Zeichen ː angezeigt.

Literaturverzeichnis.

Aikin, W. A. The seperate functions of different parts of the rima glottidis. Journ. of anat. a. physiol. **34**, 253—256 (1902).

Auerbach. Untersuchungen über die Natur des Vokalklanges. Pogg. Ann., Erg.-Bd. 8, S. 177 (1876).

— Zur Grassmannschen Vokaltheorie. Wied. Ann. **4**, 508 (1878).

— Bestimmung der Resonanztöne der Mundhöhle durch Perkussion. Wied. Ann. **3**, 152 (1878).

— Die physikalischen Grundlagen der Phonetik. Zeitschr. f. franz. Sprache u. Lit. **16**, 116—171 (1894).

Barlow. Articulation of hum. voice etc. Proc. Dubl. Soc. 1878.

— On the pneumatic action etc. Proc. Roy. Soc. London **22**, 277 (1894).

Barth, E. Über den Mechanismus der Kehldeckelbewegungen beim Menschen. Arch. f. Anat. u. Phys. 1905, S. 84.

— — und Grumnach. Röntgenographische Beiträge zur Stimmphysiologie. Arch. f. Laryngol. **19**, Heft 3.

— — Zur Lehre vom Tonansatz auf Grund physiologischer und anatomischer Untersuchungen. Arch. f. Laryngol. **16**.

Behnke. The mechanism of the human voice. London 1882.

Bell, A. M. Principles of Speech. London 1849.

— — Visible Speech. London 1867.

— — University Lectures on Phonetics. New York 1887.

Bergonié, Phénomènes physiques de la phonation. Thèse. Paris 1883.

Biebendt. Über die Kraft des Gaumensegelverschlusses. Inaug.-Diss. 1908.

Binet et Henri. Les actions d'arrêt dans les phénomènes de la parole. Revue philosophique **37** (1894).

Bevier. The acoustic analysis of the vowels from a phonographic record. Phys. Rev. **10**, 193 (1900).

— Acoustic analysis of the vowel A. Neuere Sprachen 1900, VIII, S. 65.

Beyer, F. Lautsystem des Neufranzösischen. Köthen 1887/88.

Blake, E. W. Nature **18**, 338 (1878).

Boeke. On the derivation of the curves of vowel sounds. Proc. Roy. Soc. Edinb. **22**, 88 ff.

— Mikroskopische Phonogrammstudien. Pflügers Arch. **50**, 297 (1891) und **76**, 497 (1899). Vgl. De Nature 1890, Bd. 76, S. 497, 516 (1899).

Bourdon, B. L'expression des émotions et des tendances dans le langage. Paris 1892.

— — L'application de la méthode graphique à l'étude de l'intensité de la voix. Année psychol. **4**, 369—378 (1898).

Bourseul. Beitrag z. Theorie d. Vokale. Journ. de Phys. **7**, 377 (1877).

Bremer, O. Deutsche Phonetik. Leipzig 1893.

Brücke. Grundzüge der Physiologie der Sprachlaute. Wien 1856.

Cagniard-Latour. Sur la pression à la quelle l'air continu dans la trachée-artère se trouve soumis pendant l'acte de la phonation. Compt. rend. de l'Ac. d. Sc. Paris 1837, IV, p. 201. Ann. d. Sc. Nat. 1837, VII, p. 180, VIII, p. 319.

Cross. Helmholtzs Vokaltheorie und der Phonograph. Nature **18**, 93 (1878).

Czermak. Zahlreiche Abhandlungen in den Wiener Sitzungsberichten 1857—1865.

Déguisne. Die Aufzeichnung von akustischen Schwebungen. Ann. d. Phys. **23**, 308 (1907), 4. Folge.

— und Marbe. Analogie zwischen Wechselströmen und Schallschwingungen. Physik. Zeitschr., 8. Jahrg., Nr. 7, S. 200.

Demeny. Analyse et mouv. d. l. parole p. l. chronophotographie. Paris, C. R. Ac. Sc. **113**, 216 (1891).

Dittrich, O. Die sprachwissenschaftliche Definition der Begriffe „Satz" und „Syntax". Philos. Studien **19** (1902).

— — Grundzüge der Sprachpsychologie I. Halle 1903.

— — Die Grenzen der Sprachwissenschaft. Leipzig 1905.

Donders. De physiologie d. spraakklanken etc. Utrecht 1870.

— Zahlreiche Abhandlungen über Vokalklang im Arch. f. d. holl. Beitr., Bd. 1—3, im Nederl. Arch. voor Geneesk., Bd. 1, in Pogg. Ann. **123** und in Ond. in het physiol. lab. Utrecht, T. 3, 1857 bis 1871.

Doumer, Des voyelles etc. C. R. Ac. Sc. **104**, 340—342 (1886); **105**, 1247—1249 (1887).

Eichhorn. Die Vokalsirene. Wied. Ann. **39**, 149 (1890).

Eijkman, L. P. H. The movements of the soft palate in speech. Onderzoek. physiol. Labor. Utrecht **4**, 347—375 (1903).

— — Die Bewegung der Halsorgane. Pflügers Arch. **105**, 536 bis 540 (1904).

— — De registratie der bovenlip beweging. Onderzoek. physiol. Labor. Utrecht **5**, 30—40 (1904).

— — The measuring of the vertical jaw-distances in Speech. Arch. Tegler.

— — Die Radiographie des Kehlkopfes. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Hamburg 1903—1904.

Ellis, A. J. Essentials of Phonetics. London 1848.
Engel, G. Studien zur Theorie des Gesanges. Ann. d. Phys. Leipzig 1869.
Feré, C. R. Soc. Biol. 1889, p. 518.
Fick. Zur Phonographik. Beitrag zur Physiol. Verb. Potenz-Fühlhebel, Ludwig gewidmet. 1887, S. 23 ff.
Flatau, Th. S. Sur un quatrième registre musical de la voix. Arch. intern. de Laryngol. 1905.
— — und Gutzmann, H. Neue Versuche zur Physiologie des Gesanges. Arch. f. Laryngol. **16**.
Flatau, Th. S. und Gutzmann, H. Die Singstimme des Schulkindes. Arch. f. Laryngol. **20**.
Flatau, Th. S. und Gutzmann, H. Die Stimme des Säuglings. Sonderabdruck a. Arch. f. Laryngol. **18**, 13 (1906).
Forchhammer. Phonoskopet. Tidskrift for Physik og Chem. **8**, 97 (1887).
Gallée, J. H. und Zwaardemaker, H. Über Graphik der Sprachlaute, namentlich der Explosivae. Die neueren Sprachen **8**, 1—24 (1900).
Gallée, J. H. und Zwaardemaker, H. Duur en tonshoogte van Nederlandsche Klanken en lettergrepen. Handel. v. h. Nederl. Philol. Congres 1902, p. 115—135.
Gallée, J. H. Over den duur van klinkers en mede klinkers. Separatabdruck aus Onderz. Phys. Lab. Utrecht.
Garbini. Evoluzione della voce nella infancia.
Garcia. Mém. s. l. voix humaine. Paris 1847.
— Rech. s. l. voix humaine. C. R. 1861 (1. sem.), p. 654.
— Beobachtungen über die menschliche Stimme. Wien 1878.
Gavarret. Phén. phys. d. l. phonation. Paris 1877.
Gellée in Chauveau. Le Pharynx. 1901, p. 355.
Gellée, M. E. L'audition. Paris 1897.
— Contraction du muscle et perte de sa conduction pour le son etc. Compt. rend. de la soc. d. biol. 1902, p. 401—404.
Gentilli. Der Glossograph. Leipzig 1882.
Grandgent, C. H. German and English sounds. Boston 1893.
Grassmann. Leitfaden der Akustik. Stett. Progr. 1854.
— Über die physische Natur der Sprachlaute. Wied. Ann. **1**, 606 (1877).
Grégoire. Variations de durée de la syllabe française. La parole 1899, I, p. 161, 263, 418.
Grützner, P. Physiologie der Stimme und Sprache in Hermanns Handbuch der Physiologie **1**, 2 (Leipzig 1879).
— — Breslauer ärztl. Zeitschr. **5**, 190 (1883).
— — Recueil Zoologique suisse T. I., p. 665 (1884).
— — Stimme u. Sprache in Ergebnisse d. Physiologie. Bd. II, 1902.
Guébhardt. Nouv. procedé phonéidoscopique. Congrès de Montpellier 1879.

Guillemin. Étude s. l. voix humaine. Thèse. Lyon 1888.
Gutzmann, H. Eine neue phonetische Schrift. Monatsschr. f. Sprachheilkunde 1894.
— — Über Media und Tenuis. Monatsschr. f. Sprachheilkunde 1901.
— — Gaumensegel (Physiologie) in Eulenburgs Realenzyklopädie, 3. Aufl.
— — Die Photographie der Sprache usw. Berlin. Klin. Wochenschr. **33**, 413—416 (1896).
— — Über die Tonhöhe der Sprechstimme. Monatsschr. f. Sprachheilkunde 1906.
— — Über den sogenannten primären Ton. Monatsschr. f. Schulgesang 1907, Nr. 7/8.
— — Stimmbildung und Stimmpflege. Wiesbaden 1906.
— — Zur Frage nach den gegenseitigen Beziehungen zwischen Brust- und Bauchatmung. Verh. d. Kongr. f. innere Medizin 1902, S. 508—518.
— — Das Verhältnis der Affekte zu den Sprachstörungen. Zeitschr. f. klin. Medizin **57** (1905), Heft 5 u. 6, 16 S.
— — Unters. über d. Grenzen der sprachl. Perzeptionen. Zeitschr. f. klin. Medizin **60** (1907).
Hagelin. Stomatosk. Und. af franska spräkljnd. Stockholm 1889.
Have, J. Th. ten. Over ademsnelheid, ademgroote en ademarbeid. Onderz. Phys. Lab. Utrecht (Abdruck).
Hellwag, C. De formatione loquelae 1781.
Helmholtz. Über die Vokale. Arch. f. holl. Beitr. z. Nat.- u. Heilk. **1**, 384 (1857).
— Über die Klangformen der Vokale. Gel. Anz. d. königl. bayer. Akad. d. Wiss. 1859, S. 537; auch in Pogg. Ann. **108**, 280.
— Die Lehre von den Tonempfindungen. Braunschweig 1863. 4. Aufl. 1877.
Hensen, V. Ein einfaches Verfahren zur Beobachtung der Tonhöhe eines gesungenen Tones. Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt.) 1879, S. 155.
— — Über die Schrift von Schallbewegungen. Zeitschr. f. Biologie **23**, 291 (1887).
— — Die Harmonie in den Vokalen. Zeitschr. f. Biologie **28**, 39 (1891).
— — Vorführung der Resonanztöne der Mundhöhle für einige Vokale. Arch. ital. de biol. **36**, 49 (1901).
Hermann, L. Phonophotographische Untersuchungen. Pflügers Arch. **45**, 282; **47**, 42, 44, 347; **48**, 181, 543, 574 ff.; **53**, 1 ff.; **58**, 255 ff. (mit Matthias „Über Konsonanten", S. 264 ff.); **59**, 104; **61** (Weitere Untersuchungen über das Wesen der Vokale, S. 169 ff., mit Hirschfeld), 1889—1895; **83** (Fortgesetzte Untersuchungen über die Konsonanten), 1—32 (1900) (Konsonanten).
— — Über das Verhalten der Vokale am neuen Edisonschen Phonographen. Pflügers Arch. **47**, 44.

Hermann, L. Über Synthese von Vokalen. Pflügers Arch. **91**, 135—163 (1902).

Jenkin und Ewing. Der Phonograph und die Vokalklänge. Nature **17**, 482; **18**, 167, 340, 394, 454 (1878).

— — — Analyse der Vokalklänge mittels des Phonographen. Trans. R. Soc. of Edinb. **28**, 745 (1879).

Jespersen, O. Fonetik. En systematik etc. Kobenhavn 1887—1890.

Katzenstein. Über die Lautgebungsstelle in der Hirnrinde des Hundes. Arch. f. Laryngol. **20**.

— Über Brust- und Falsettstimme. Zeitschr. f. klin. Medizin **62**.

Kempelen. Mechanismus der menschlichen Sprache usw. Wien 1791.

Kempf-Hartmann, R. Photographische Darstellung der Schwingungen von Telephonmembranen, Ann. d. Phys. **8**, 481—538 (1902), 4. Folge.

— — Über den Einfluß der Amplitude auf Tonhöhe und Dekrement von Stimmgabeln usw. (Diss. Würzburg 1902). Frankfurt 1903, 255 S.

Kendrick. Sound and Speech waves revealed by the Phonographic. London 1897.

—, M. Demonstration of an improved phonograph recorder. Proc. Roy. Soc. Edinb. 1896/1897, XXI, p. 194.

— — Observations on the phonographe. Trans. Roy. Soc. Edinb. 1897, XXXVIII, p. 765.

— — and Gray. On vocal sounds. Schaefers Text-Book of Physiology II, p. 1227, 1229. London 1900.

—, Murray and Wingate. Comittee report on the physiol. applications of the phonograph and on the form of the voice curves by the instrument. Roy. Brit. Ass. Adr. Sc. 1896, p. 669.

Kingsley. Illustrations of the articulations of the tongue. Int. Zeitschr. f. Spr. **3**, 226 (1887).

Klinghardt, H. Artikulations- und Hörübungen. Köthen 1897.

Klünder. Ein Versuch, die Fehler zu bestimmen, welche der Kehlkopf beim Halten eines Tones macht. Marburg 1872.

König, R. Sur les notes fixes charact. des div. voyelles. C. R. **70**, 931 (1870).

— — Quelques expériences d'acoustique. Paris 1882.

Koschwitz. Experimentalphonetische Studien. Arch. f. neuere Spr. **88**, 241—266 (1892).

Kraepelin, E. Allgemeine Psychiatrie. 7. Aufl. 1903.

Kratzenstein. Tentamen coronatum de voce. Petropol. 1780. Observ. s. l. physique. 1782.

Krönig. Notiz über Vokallaute. Pogg. Ann. **157**, 339 (1876).

Krueger, F. Beobachtungen an Zweiklängen. Wundts Philos. Stud. **16**, 307—379, 568—664 (1900).

— — Zur Theorie der Kombinationstöne. Wundts Philos. Stud. **17**, 185—310 (1901).

Krueger, F. Bericht über den I. Kongreß für experimentelle Psychologie (Gießen). Leipzig 1904. Siehe Diskussion des Marbeschen Vortrages, S. 97.
— — und Wirth, W. Ein neuer Kehltonschreiber. Wundts Psycholog. Stud. 1, Heft 1 (1901).
— — und Wirth, W. Die Theorie der Konsonanz. Wundts Psycholog. Stud. 1 (1905); 2 (1906).
— — und Wirth, W. Die Messung der Sprechmelodie als Ausdrucksmethode. Atti del V. congresso intern. di psicol. (1905). Rom 1906.
Krzywicki, C. v. Über die graphische Darstellung der Kehlkopfbewegungen usw. Königsberg 1892.
Lahr. Die Grassmannsche Vokaltheorie im Lichte des Experiments. Wied. Ann. 27, 94 (1886).
Lermoyez. Étude exp. s. l. phonation. Thèse. Paris 1886.
Lippich. Studien über den Phonautographen von Scott. Sitzungsber. d. Wien. Akad. Math.-naturw. Kl. 50, II. Abt., S. 397 (1864).
Lloyd. Speech sounds, their nature and causation. Phonet. Stud. 3, 251; 4, 37 usw. (1890 ff.).
— Some researches into the nature of vowel sound. Liverpool 1890.
— Journal of anat. a. physiol. 31, 233 (1896).
— Proc. of the Royal Soc. of Edinburgh 22, 97 (1898).
Löwenberg. Akustische Untersuchungen über d. Nasenvokale. Deutsche med. Wochenschr. 1889, S. 518.
Lucae, A. Zur Prüfung des Sprachgehörs. Arch. f. Ohrenheilkunde 1905, S. 155.
Marage. Phonation et audition d'après les travaux récents publiés en France. Année psychol. 8, 257—298 (1902).
— Compt. rend. de l'Acad. des Sciences 128, 425 (1899).
— Compt. rend. de la Soc. de biol. 1899, p. 933.
Marbe, K. Über den Rhythmus der Prosa. Gießen 1904. Vgl. Ber. d. I. Kongr. f. exper. Psychol. Leipzig 1904.
— — Über elektrisch erzeugte Flammenbewegungen. Physik. Zeitschr., 8. Jahrg., Nr. 12, S. 415.
— — Objektive Bestimmung der Schwingungszahlen Königscher Flammen ohne Photographie. Physik. Zeitschr, 7. Jahrg., Nr. 15, S. 543.
— — Erzeugung schwingender Flammen mittels Luftübertragung. Physik. Zeitschr., 8. Jahrg., Nr. 3, S. 92.
— — Die Anwendung rußender Flammen in der Psychologie und ihren Grenzgebieten. Vortr. a. d. III. Kongreß f. exper. Psychologie. Frankfurt a. M. 1908.
Marey, E. J. Physiologie expérimentale. T. 1 u. 2. Paris 1875—1876.
— — La méthode graphique dans les sciences expérimentales, Paris 1885.
Marichelle, M. La parole d'après le tracé du phonographe. Paris 1897.

Martens. Über das Verhalten von Vokalen und Diphthongen in gesprochenen Worten. Zeitschr. f. Biol. **25**, 289—327 (1889); auch In.-Diss. (Kiel) 1888.

Masing, L. Die Hauptformen des serbisch-chorwatischen Akzents usw. (Diss. Leipzig). Mém. de l'Acad. d. sciences de St. Pétersbourg. VII. Sér. 1876.

Mayer, A. M. Phonograph. Nature **17**, 469 (1878).

Meinhof. Linguistik 1906 in Neumayers Anleitung, 3. Aufl., Bd. II, S. 463.

Mercadier. Reprod. téléph. d. l. parole. C. R. **113**, 216 (1891).

Merkel, C. L. Anatomie und Physiologie des menschlichen Stimm- und Sprachorgans (Antropophonik). Leipzig 1856, 2. Aufl. 1863.

— — Physiologie der menschlichen Sprache. Leipzig 1866.

Meyer, E. A. Zur Tonbewegung des Vokals im gesprochenen und gesungenen Einzelwort. Die neueren Sprachen **4**, 1—21 (1896). Beiblatt 10.

— — Beiträge zur deutschen Metrik. Die neueren Sprachen **6**, 122 ff. (1898).

— — Stimmhaftes *H*. Die neueren Sprachen **8**, 260—283 (1900).

— — Die Silbe. Die neueren Sprachen **6**, 479—493 (1898).

— G. H. Stimm- und Sprachbildung. Berlin 1871.

Michaelis. Zur Lehre von den Klängen der Konsonanten. 1879.

Mönch. La durée des voyelles françaises. Die neueren Sprachen **3**, 581—587 (1895).

Morochowetz. Die Grundlaute der menschlichen Sprache. Berlin 1908.

Müller, Joh. Handbuch der Physiologie. 1842.

Nagel und Samojloff. Einige Versuche über die Übertragung von Schallschwingungen usw. Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt.) 1898, S. 505.

Nagel. Physiologie der Stimmwerkzeuge. In Nagels Handbuch der Physiol. d. Menschen 1908. Hier ist eine ausgezeichnete Zusammenstellung der Physiologie der Stimme und Sprache mit vollständiger Literatur gegeben.

Nuvoli. Fisiologia ecc. degli organi vocali in relaz. all'arte del canto e della parola. Milano 1889.

Osthof und Brugmann. Morphologische Untersuchungen auf dem Gebiete der indogermanischen Sprachen I. Leipzig 1878.

Panconcelli-Calzia, Giulio. Quelques remarques sur la méthode graphique. Neuere Sprachen 13 (Jan. 1906), Heft 9, S. 568 ff.

— — Experimentalphonetische Rundschau. Neuere Sprachen seit Januar 1906.

— — de la nasalité en Italien. Paris 1904.

Passy, P. Étude sur les changements phonétiques etc. Paris 1890.

Paulsen, E. Untersuchungen über die Tonhöhe der Sprache. Pflüg. Arch. **74**, 570—576 (1899).

— — Die Singstimme im jugendlichen Alter und der Schulgesang.

Paulsen, E. Über die Singstimme der Kinder. Pflüg. Arch. **61**, 407—576 (1895).

Pipping. Besprechung der Abhandlungen Lloyds. Zeitschr. f. franz. Sprach. u. Lit. **16** (2), Heft 3—4.

— Zur Klangfarbe der gesungenen Vokale. Zeitschr. f. Biol. **27**, 1—80 (1890); Nachtr. S. 433—439.

— Om Hensens Fonautograf som ett hjälpmedel f. språkvetenskapen. Helsingfors 1890.

— Zur Lehre von den Vokalklängen. Zeitschr. f. Biol. **31**, 524—583 (1895).

— Über die Theorie der Vokale. Acta Societ. Scient. Fennical. 20, Nr. 11, 66 S. (1895).

— Zur Phonetik der finnischen Sprache. Mém. de la Soc. finno-ougr. **14**, 236 (1899).

Preece und Stroh. On the synth. examination of vowel sounds. Proceed. R. Soc. London **28**, 358 (1879).

Raps. Über Luftschwingungen. Wied. Ann. **50**, 193—220 (1893).

Reuter, C. Zeitschr. f. Ohrenheilkunde **47**, 91.

— — Onderz. Phys. Lab. Utrecht [5] **5**, 239.

Roorda, P. De klankleer en hare practische Toepassing. Groningen 1889.

Roudet. Recherches sur le rôle de la pression sous-glottique dans la parole. La Parole 1900, II, p. 599.

— De la dépense de l'air dans la parole etc. La Parole **2**, 209 ff. (1900).

Rosapelly. Inscription d. mouv. phonétiques. Trav. d. lab. de Marey. T. 2, p. 109. Paris 1876.

Rousselot. Les modifications phonét. du langage étudiés dans le patois d'une famille de Cellefronin. Rev. des patois gallo-romains 1891, p. 65. Referat von Behrens. Zeitschr. f. franz. Sprach. u. Lit. **14** (2).

— La méthode graphique, appliquée à la recherche des transformations inconscientes du langage. Compt. rend. du congrès scientifique international des catholiques tenu à Paris, 1.—6. avril 1891. 6. sect. Philologie, p. 109 ff. Paris 1891.

— Sur les caractéristiques des voyelles etc. Compt. rend. de l'Acad. d. sciences **137**, 40—43 (1903).

— Principes de phonétique expérimentale. 2 Bde. Paris 1897; 1901 (unvollständig).

Samojloff, A. Zur Vokalfrage. Pflügers Arch. **78**, 1—37 (1899).

— — Graphische Darstellung der Vokale. Physiologiste Russe **2** [II], 62 (1900).

Saran, Fr. Melodik und Rhythmik der Zueignung Goethes. Stud. z. deutsch. Philologie. Halle 1903.

Sauberschwarz, E. Interferenzversuche mit Vokalen. Pflügers Arch. **61**, 1—31 (1895).

Savart. Zahlreiche Abhandlungen über die Stimme in C. R. Ac. Sc. und in Ann. de chim. et de phys. 1825—1829.

Schaefer, Karl L. Eine neue Erklärung der subjektiven Kombinationstöne auf Grund der Helmholtzschen Resonanzhypothese. Pflügers Arch. **78**, 505.

Schaefer, Karl L. und Abraham, Otto. Studien über Unterbrechungstöne. Pflügers Arch. **83**, 207.

Scheier, M. Die Verwertung der Röntgenstrahlen für die Physiologie der Sprache und Stimme. Arch. f. Laryngol. **7** (1897).

— — Deutsch. med. Wochenschr. 1897, Nr. 25.

Schneebeli. Sur la théorie du timbre et part. des voyelles. Arch. de Genève [2] **64**, 79; [3] **1**, 149 (1878—1879).

Schwan und Pringsheim. Der französische Akzent. Arch. f. neuere Sprachen **85**, 203 (1890).

Scott. Inscription automatique des sons de l'air au moyen d'une oreille artificielle 1861.

— Phonautographe. Ann. du Conservatoire des Arts et Métiers. Oktober 1864.

Scripture, E. W. Researches in experimental phonetics. Stud. Yale Psych. Lab. **7**, 1—101 (1899); **10**, 49—80 (1900).

— — Speech curves. Modern lang.-notes. **16**, 143—158 (1901).

— — On the nature of vowels. Amer. Journ. of science **11**, 302—309 (1901).

— — Studies of melody in English speech. Wundts Philos. Stud. (Festschrift) **19**, 599—615 (1902).

— — The elements of experimental phonetics. New York and London 1902.

— — A record on the melody of the Lords prayer. Die neueren Sprachen **10**, 513—548 (1903).

— — New machine for tracing speech curves. Amer. Journ. of science **15**, 447—449 (1903).

— — Über das Studium der Sprachkurven. Ostwalds Annalen der Naturphil. **4**, 28—46 (1903).

— — Researches in Experimental Phonetics. The Study of Speech Curves. Washington D. C. 1906.

Sievers, E. Grundzüge der Phonetik. Leipzig 1876, 5. Aufl. 1901.

— — Metrische Studien. I. Ber. d. Sächs. Akad. d. Wiss. 1901.

— — Phonetik. Pauls Grundriß der germanischen Philologie (1891). Straßburg 1897, 2. Aufl., S. 233 ff.

Sommer, R. Psychopathologische Untersuchungsmethoden. 1899.

Sweet, H. The practical study of languages. London 1899.

Stolze, F. Über die Funktionen der Zunge bei der Hervorbringung von Vokalen. Zeitschr. f. neuere physik. Medizin 1907, S. 34.

Storm, J. Englische Philologie. 2. Aufl. Leipzig 1892—1896.

Stumpf, C. Tonpsychologie Leipzig 1883.

Sweet, H. Handbook of Phonetics 1877.

Techmer. Phonetik. 2 Bde. Leipzig 1880.

— Naturwissenschaftliche Analyse und Synthese der hörbaren Sprache. Int. Zeitschr. f. Sprachwiss. **1**, 69 (1884).

Techmer. Beiträge zur Geschichte der Phonetik und Phonographie. Int. Zeitschr. f. Sprachwiss. **5**, 145 (1889).

Thiéry, A. Le tonal de la parole. Extr. de la Rev. Néo-Scolast. 1900 et 1901. Louvain 1901. 95 S.

Treitel. Über die Stimme kleiner Kinder. Zentralbl. f. Physiol. **15** (1891).

Unser, H. Über den Rhythmus der deutschen Prosa (Diss. Freiburg). 38 S. Heidelberg 1906.

Verdin, Ch. Catalogue des instruments de précision. III. Phonétique. 33 S. Paris 1905.

Verschuur, A. Klankleer van het Noord-Bevenlandsch. Diss. Amsterdam 1902.

Viëtor, W. Kleine Beiträge zur Experimentalphonetik. Die neueren Sprachen, Neue Folge [2] **1** (1894). Beibl. Phonet. Stud., S. 25—36.

— — Elemente der Phonetik usw. 1884. 4. Aufl. Leipzig 1898.

Vierordt. Die Schall- und Tonstärke. S. 235. Tübingen 1885.

Wagner, Ph. Der gegenwärtige Lautbestand der schwäbischen Mundart in Reutlingen. Reutlingen 1889—1891. Programm.

— — Über die Verwendung des Grützner-Mareyschen Apparates und des Phonographen zu phonetischen Untersuchungen. Phonet. Stud. **4**, 68 (1890).

— — Französische Quantität. Phonet. Stud. **6** (1892).

Wallace, Wallin J. E. Researches on the rhythm of speech. Stud. Yale Psych. Lab. **11**, 1—142 (1901).

Weiss, O. und Joachim, G. Pflüg. Arch. **123**, 341.

Wendeler. Ein Versuch, die Schallbewegung einiger Konsonanten graphisch darzustellen. Zeitschr. f. Biol. **13**, 303 (1887).

Wheatstone, C. The London and Westminster Review 1873, p. 27.

Willis. Über die Vokaltöne und Zungenpfeifen. Pogg. Ann. **24**, 397 (1832).

Wiltse. Experimental Amer. Journ. of Psych. 1888, I, p. 702.

Winteler, J. Die Kerenzer Mundart des Kantons Glarus usw. Leipzig und Heidelberg 1876.

Wolf. Sprache und Ohr. Braunschweig 1871.

— Die Hörprüfung mittels der Sprache. Zeitschr. f. Ohrenheilk. 1899, S. 289.

Wundt, W. Sprachgeschichte und Sprachpsychologie. Leipzig 1901.

— — Völkerpsychologie. I. Bd.: Die Sprache (Leipzig 1900). 2. Aufl. 1904.

Qvanten. Zur Helmholtzschen Vokaltheorie. Pogg. Ann. 1875, Heft 2 u. 4.

Zahn, v. Akustische Analyse der Vokalklänge. Leipzig 1882.

Zwaardemaker und Minkema. Über die beim Sprechen auftretenden Luftströme und über die Intensität der menschlichen Stimme. Arch. f. Anat. u. Phys., phys. Abt. 1906, S. 433.

Zwaardemaker. Les mouvements respiratoires et leurs Conséquences aérodynamiques. Ann. de la Soc. méd.-phys. d'Anvers 1904.

Zwaardemaker. Über Intermittenztöne. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1900.
— Graphieck de Spraakbeweging. Onderzoek. Physiol. Lab. Utrecht 5, 59—110 (1899).
— Über den Akzent nach graphischer Darstellung. Monatsschr. f. Sprachheilk. 1900, Heft 9 u. 10.
— und Ouwehand. Die Geschwindigkeit des Atemstromes und das Atemvolumen des Menschen. Archiv f. Anat. u. Phys. 1904.
— Het R-Register. Tijdschrift v. Geneesk. 1898.
— Le registre de l'R. Arch. néerl. Série II, Tome II.
— Sur les sons dominants des résonants, avec quelques observations sur la voix morte des adénoïdiens. Arch. néerlandaises des Sc. ex. et nat. Série II, Tome II.
— Die Luftbrücke. Onderz. Phys. Lab. Utrecht, IV, II.
— Über die den Resonanten zukommende Nasalierung. Monatsschr. f. Sprachheilk. 1907, S. 326.