

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Handbuch der Physiologie des Menschen

in vier Bänden (und einem Ergänzungsbande)

Physiologie des Nerven- und Muskelsystems

Du Bois- Reymond, René

1909

Physiologie der Stimmwerkzeuge. Von W. Nagel

Physiologie der Stimmwerkzeuge

von

W. Nagel.

Ältere zusammenfassende Darstellungen des Gebietes:

J. Müller, Von der Stimme und Sprache. Handbuch der Physiologie des Menschen 2, 133 bis 245, 1840.

C. L. Merkel, Anatomie und Physiologie des menschlichen Stimm- und Sprachorgans (Anthropophonik). Leipzig 1857.

E. Harless, Stimme; in Wagners Handwörterbuch der Physiologie 4. Braunschweig 1853.

P. Grützner, Physiologie der Stimme und Sprache; in L. Hermanns Handbuch der Physiologie 1, Teil II. Leipzig 1879.

J. R. Ewald, Die Physiologie des Kehlkopfes und der Luftröhre, Stimmbildung; in P. Heymanns Handbuch der Laryngologie und Rhinologie 1. Wien 1898.

Diese Arbeiten sind im Texte nur mit dem Autornamen zitiert.

Literatur zur Phonetik findet man ferner in H. Breyer, Die phonetische Literatur von 1876 bis 1895. Eine bibliographisch-kritische Übersicht.

Ferner in Grützners zusammenfassendem Referat in:

Ergebnisse der Physiologie 1, 2, 1902.

Die neue Literatur von 1906 (einschließlich) stellt G. Paneoncelli-Calzia in einer „Bibliographia phonetica“ in der mediz.-pädagog. Monatsschr. f. d. ges. Sprachheilkunde, herausgegeben von A. und H. Gutzmann, zusammen. Eine Bibliographie 1900 bis 1905 soll folgen.

Einleitung.

Wer heute eine Phonetik im weitesten Sinne schreiben wollte, müßte nicht nur umfassende physiologische und physikalische Kenntnisse haben, sondern auch pathologisch-klinische, ferner psychologische und nicht zum wenigsten philologische; bildet doch die „Sprachwissenschaft“ einen wichtigen Teil der philologischen Wissenschaften. Es existiert auch eine nicht geringe Anzahl von Philologen geschriebener Werke über Phonetik. Naturgemäß ist die Hauptaufgabe, die sich die Autoren dieser Werke stellten, eine wesentlich andere als diejenige, die einer physiologischen Phonetik zugrunde liegen muß. Unvermeidlich blieb es aber auch für die philologischen Phonetiker, rein physiologische Fragen mit zu behandeln. Zum Teil geschah das wohl ohne das rechte Bewußtsein der Tatsache, daß es sich um Physiologie handelt. Wenn über die Einteilung der Sprachlaute nach ihrer Entstehungsweise und nach dem Orte ihrer Erzeugung im Stimmorgan gesprochen wird, ist das schon ein physiologisches Problem, dessen Erforschung mit physiologischen Methoden

erfolgen müßte; es berührt seltsam, dieses Problem bei manchen Phonetikern so behandelt zu sehen, als ob es eigentlich gar keines wäre, als ob jedermann aus eigener Beobachtung sofort angeben könnte, wo und wie die einzelnen Laute gebildet werden, während der Physiologe weiß, daß es sich hier vielfach um noch ungelöste schwierige Fragen handelt.

Auf der anderen Seite mangelt den Physiologen und Physikern wohl größtenteils die Kenntnis desjenigen Teiles der Phonetik, der unbestritten Domäne der philologischen Sprachwissenschaft ist und bleiben muß. Die geschichtliche Entwicklung und die organische Verwandtschaft der einzelnen Sprachstämme, die eigentliche Sprachkunde und die vergleichende Sprachwissenschaft, bilden, jede für sich, sehr umfangreiche Wissensgebiete, in die man sich nicht in kurzem einarbeitet.

So ist denn eine umfassende Darstellung der gesamten Phonetik heute noch ein unerfülltes Desiderat und wird es wohl noch lange Zeit bleiben. Man wird sich zunächst wenigstens mit Teildarstellungen vom Standpunkte der einen oder anderen Wissenschaft zu begnügen haben. Eine solche soll auch nur die vorliegende Bearbeitung des Gegenstandes sein, eine Bearbeitung vom rein physiologischen Standpunkte aus, bei der Übergriffe in das Gebiet der philologischen Phonetik möglichst vermieden werden. Noch weitere Einschränkungen mußten im Hinblick auf den begrenzten zur Verfügung stehenden Raum gemacht werden. So habe ich mich hinsichtlich der pathologischen Erscheinungen, so interessant und für die physiologische Betrachtung wertvoll sie teilweise sind, auf das Allerwichtigste beschränken müssen. Einige Dinge, die von den früheren Bearbeitern der physiologischen Phonetik sehr gründlich behandelt worden sind, glaubte ich gerade deshalb kürzer behandeln zu dürfen, so die Physik der Zungenpfeifen im allgemeinen und die Abhängigkeit der Schwingungen elastischer Bänder von der Spannung. Das Interesse an der letzteren Frage würde erheblich erst werden, wenn wir exakte Spannungsmessungen am tönenden lebendigen Kehlkopf ausführen könnten.

Im wesentlichen ist, was ich bringe, nur eine Physiologie der Stimmorgane und Stimmlaute, während auf die eigentliche Sprache im engeren Sinne nur flüchtige Streifblicke geworfen werden können. Über die Gehirnzentren der Sprache ist auch Bd. IV, S. 111 ff., zu vergleichen.

I. Aufbau des Stimmapparates; Allgemeines.

Der Stimmapparat als Ganzes besteht aus einer Anzahl verschiedenartiger, in den Weg des Atmungsstromes eingeschalteter Schallerzeugungsapparate, die durch die Atmungsluft, hauptsächlich den Ausatemstrom zum Tönen gebracht werden können und so die Erzeugung einer reichhaltigen Reihe verschiedener Klänge und Geräusche ermöglichen. Diesen Stimmapparat hat der Mensch nicht nur seiner Grundanlage nach, sondern selbst bis in viele Einzelheiten hinein mit den höheren Säugetieren gemein. Was den menschlichen Stimmapparat im Gegensatz zum tierischen befähigt, als Organ der Sprache zu dienen, das ist nicht oder nur zum allerkleinsten Teil ein vollkommenerer oder verwickelterer Bau der einzelnen Stimmwerkzeuge, der Unterschied zugunsten des Menschen liegt vielmehr in den Nervenzentren. Die

Nerven von beiderlei Leitungsrichtung, die zwischen Gehirn und Kopfmack einerseits, Kehlkopf, Gaumen, Zunge und Lippen andererseits vermitteln, haben beim Menschen sehr viel reichere zentrale Verbindungen; die Zellen, welche die zentrifugalen Impulse zum Kehlkopf, zur Zunge und den Lippen entsenden, sind viel ausgiebiger untereinander verbunden, als es bei Tieren der Fall ist — mindestens sind die Verbindungen, soweit sie auch bei Tieren nicht fehlen, beim Menschen weit mehr gebahnt und wegsamer. Dadurch wird verwickelteres und doch präzise funktionierendes Zusammenarbeiten der entsprechenden Stimmwerkzeuge ermöglicht.

Es müssen aber, das ist wohl das Wesentlichste, die Funktionen dieser einzelnen Organe zu einem einheitlichen Ganzen zusammengefaßt sein, indem ihre zentralen Vertretungen in einem besonderen Rindengebiete (Sprachzentrum) noch ausgiebig miteinander kommunizieren und hier in ihrer Gemeinsamkeit den Anschluß an die verschiedensten Rindengebiete erhalten, deren Funktion für das Sprechen maßgebend ist.

Es kann als im höchsten Grade überraschend bezeichnet werden, daß den bedeutenden Differenzen in der Entwicklung der zentralen Sprachfunktion bei Mensch und Tier so minimale Differenzen in der Gestaltung der eigentlichen Sprachwerkzeuge entsprechen. Möchten sich die vergleichenden Anatomen immer dieses Beispiels erinnern, das die Unsicherheit der Schlüsse von Verschiedenheiten im Bau auf Verschiedenheiten der Leistung und umgekehrt in so bemerkenswerter Weise illustriert!

Eine gewisse, freilich unvollständige Erklärung liegt darin, daß keines der Stimmwerkzeuge ausschließlich als stimmbildendes Organ funktioniert; alle haben sie „nebenbei“ noch andere Funktionen. Es wird wohl nicht zu weit gegangen sein, wenn man sagt, daß die Funktionen des Kehlkopfes, des Gaumens, der Zunge und der Lippen, die mit dem Sprechen und der Stimmbildung nichts zu tun haben, biologisch bei weitem wichtiger sind, als die Beteiligung dieser Organe an der Stimmerzeugung oder am Sprechvorgange. Die Verschlüßstellen im Kehlkopf, im Munde und an den Lippen haben ihre Bedeutung ganz unabhängig von ihrer Beteiligung bei der Stimmbildung, eine Bedeutung, die ja hier im einzelnen nicht ausgeführt werden kann. Gewissermaßen potentiell liegen in ihnen schon beim Tiere die Sprechwerkzeuge, die aber in volle Wirksamkeit erst dann treten können, wenn über sie ein hoch entwickeltes Gehirn herrscht. Die hohe Entwicklung des menschlichen Gehirns und der Besitz der Sprache stehen in allerengstem Zusammenhange. Die höhere Entwicklung des Menschen gegenüber dem Tier, speziell dem anthropoiden Affen, prägt sich so recht eigentlich in dem Besitz der Sprache aus. Das Sprachvermögen ist durch die höhere Hirnentwicklung bedingt und bedingt seinerseits die Möglichkeit höherer geistiger Entwicklung.

Da, wie gesagt, alle bei der Stimmbildung beteiligten Organe noch andere wichtige Funktionen zu versehen haben, kann man von speziellen Stimmorganen streng genommen überhaupt nicht sprechen. Am ehesten noch würde diese Bezeichnung der Kehlkopf verdienen, an dessen Vorhandensein und normales Funktionieren die Entstehung der eigentlichen Stimmklänge, der sogenannten stimmhaften Laute, und vor allem die Singstimme geknüpft ist. Es ist in der lehrbuchmäßigen Darstellung der Physiologie üblich geworden, die gesamte Physiologie des Kehlkopfes bei Gelegenheit seiner

Funktion im Dienste der Stimmbildung zu behandeln, weil auf diese Weise am wenigsten Wiederholungen notwendig werden. Auch pflegt das, was über die speziellen Bewegungen des Gaumens, der Zunge und der Lippen zu sagen ist, zumeist bei der Physiologie der Stimme erledigt zu werden. Diesem ökonomisch wohlbegründeten Brauche entsprechend soll auch in der folgenden Darstellung vorgegangen werden, auf die Gefahr hin, in dieses Kapitel Gegenstände hineinzubringen, die mit seiner eigentlichen Aufgabe nur indirekten Zusammenhang haben.

Die als Stimmwerkzeuge bezeichneten Organe, Kehlkopf, Gaumensegel, Zunge und Lippen, stellen sich alle als Vorrichtungen dar, die den Weg des Atmungsstromes ganz oder teilweise zu verlegen imstande sind. Der Kehlkopf und das Lippenpaar vermögen außer dem vollständigen Abschluß eine auf eine ganz kurze Strecke beschränkte Verengung des Kanals zu bewirken, während die Zunge durch teilweises Anlegen an den harten Gaumen den Luftweg auf eine längere Strecke hin röhren- oder spaltförmig zu verengern vermag.

Das Gaumensegel hat außer seiner Bedeutung als vollständiges Verschlüßmittel noch die Eigenschaft einer Stellklappe, durch die die aus- oder einströmende Luft entweder durch die Nase oder durch den Mund oder durch beide Wege gleichzeitig geleitet wird (s. u. S. 725).

Wir werden nun im einzelnen zu betrachten haben, welche Bewegungen diese verschiedenen Organe auszuführen vermögen und welche sie unter den jeweiligen Bedingungen tatsächlich ausführen, insbesondere welche Stellungen sie einnehmen und welche Bewegungen sie bei der Erzeugung bestimmter Stimmlaute ausführen, woran sich alsdann die akustische Analyse der so erzeugten Laute anzuschließen haben wird.

II. Der Kehlkopf; Übersicht über seinen Bau.

Der Kehlkopf stellt einen Verschlüßmechanismus für das obere Ende der Luftröhre dar. Er besteht aus einer Anzahl von Knorpelstücken, die im höheren Alter größtenteils zu verknöchern pflegen. Zusammengehalten sind sie teils durch bindegewebige und elastische Bänder und Membranen, teils durch einen komplizierten Apparat von Muskeln, die die gegenseitige Stellung der Knorpel und die Spannung der elastischen Bänder variieren können.

Der Kehlkopf als Ganzes und mit ihm die Luftröhre sind beweglich. Von dem größten Knorpel, dem Schildknorpel, ziehen nach oben zwei breite Muskelbänder, die beiden *Musculi thyreochoidei*, durch die Kehlkopf und Luftröhre am Zungenbein aufgehängt sind. Dieses, selbst in ausgiebigem Maße beweglich, hängt an einem ganzen Komplex von Muskeln, die zur Schädelbasis und den Kiefern hinlaufen und das Zungenbein so hinlänglich fixiert halten.

Von der gleichen Stelle, wo die Thyreochoidei nach oben abgehen, gehen die Sternothyreoidei nach unten zum Brustbein, gewissermaßen als Antagonisten jener, und bestimmt, in Wechselwirkung mit ihnen die Auf- und Abwärtsbewegungen des Kehlkopfes zu bewirken, wie sie beim Schluckakt, sowie beim Sprechen stets vorkommen. Die Gestalt der Kehlkopfknorpel, sowie die Anordnung der Bänder und Muskeln werden hier als bekannt vorausgesetzt.

Entwicklungsgeschichtlich gehört der Ringknorpel zur Luftröhre, stellt gewissermaßen deren obersten Teil dar. Der Schildknorpel und wahrscheinlich auch die Stellknorpel (Gießbeckenknorpel) sind aus umgebildeten Kiemenbögen (4. und 5.) entstanden; der Kehildeckel ist eine spätere Bildung mit sekundärer Knorpel einlagerung.

Die Kehlkopfmuskulatur stellt sich phylogenetisch in ihren ersten Stadien einfach als ein Sphinkter des Luftröhreneinganges dar, dem sich späterhin dilatierende Muskulatur beigesellt. Beim höheren Wirbeltier und insbesondere beim Menschen erfährt die Kehlkopfmuskulatur eine verwickelte Gliederung. Bezüglich des rein Morphologischen muß auf die Lehrbücher der Anatomie und die beigegebenen Figuren verwiesen werden.

III. Die Bewegungsmöglichkeiten am Kehlkopf.

1. Beweglichkeit des ganzen Kehlkopfes.

Infolge der erwähnten Aufhängung des Kehlkopfes an einem Muskelsystem und wegen der Dehnbarkeit der Luftröhre kann der Kehlkopf als Ganzes um mehrere Centimeter gehoben bzw. gesenkt werden; diese Verschiebung erfolgt regelmäßig beim Wechsel zwischen hohen und tiefen Stimmtönen (Spezielles hierüber siehe unten S. 745) und beim Schlucken. Regelmäßig bei jedem Schluckakt erfolgt ferner Drehung des Kehlkopfes um seine Transversalachse mit Vornüberneigung des Schildknorpels.

Die symmetrisch angelegten zum Kehlkopf ziehenden Muskelgruppen rechts und links funktionieren in der Norm stets gleichmäßig, so daß die wegen der Beweglichkeitsverhältnisse an und für sich möglichen Drehungen des Kehlkopfes um die longitudinale und die sagittale Achse nicht in irgendwie nennenswertem Betrage vorkommen.

2. Die Beweglichkeit der einzelnen Kehlkopfknorpel gegeneinander.

Schildknorpel und Ringknorpel artikulieren in sehr einfacher Weise in einem zweiteiligen Scharniergelenk mit rein transversaler Achse, dessen Beschreibung hier erübrigt. Bei der bekannten Gestaltung des Schildknorpels werden durch die Vornüberneigung die Stimmbänder gespannt, da deren Ansatz am Schildknorpel sich von den Stimmfortsätzen an den Stellknorpeln entfernt. Das Scharniergelenk läßt einiges Schlottern zu.

Weit komplizierter ist die Gelenkverbindung der Stellknorpel mit dem Ringknorpel. Ein einfaches einachsiges Gelenk mit fest stehender vertikaler oder schief stehender Achse, wie man es wohl beschrieben und in Modellen dargestellt hat, liegt so wenig vor, wie eine allseitig freie Beweglichkeit. [Nach H. v. Meyer¹⁾ gleitet der Stellknorpel auf einer freien „Rutschbahn“ wie die Patella auf dem Femur.] Es handelt sich vielmehr um ein Zylindergelenk, dessen speziellere Beschaffenheit Stieda erkannte und durch Will²⁾ näher beschreiben ließ. Die durch den oberen Rand des Ringknorpels ge-

¹⁾ Arch. f. Anat. u. Entwicklungsgesch. 1889. — ²⁾ Über die *Articulatio crico-arytaenoidea*. Inaug.-Diss. Königsberg 1895; s. auch Stieda, Verhandl. anat. Gesellsch. Gent 1897.

bildete konvex zylindrische Fläche ist um eine schräge Zylinderachse gekrümmt, die sich mit derjenigen der anderen Seite hinten oben schneiden würde. Die Folge davon ist, daß, solange das Gelenk durch seine Bänder (*Lig. cricoarytaenoideum*) und die Muskeln in normaler Geschlossenheit gehalten wird, eine Seitwärtsbewegung (Abduktion) des Stimmfortsatzes nicht möglich ist, ohne seine gleichzeitige Hebung, die Einwärtsbewegung (Adduktion) nicht ohne Senkung. Die Stimmbänder stehen also bei weiter Glottis höher als bei enger (Stieda). Nach dieser Auffassung muß bei einseitiger Stimmbänderlähmung und weiter Glottis eine Niveaudifferenz der Stimmbänder eintreten. Laryngoskopisch eine solche zu erkennen, ist bei dem notwendigerweise monokularen Sehen schwer oder unmöglich.

Nach H. v. Meyer¹⁾ ist allerdings der Schluß der Glottis sowohl im Hoch- wie im Tiefstande möglich, je nach dem Zusammenarbeiten der verschiedenen Muskeln (siehe unten S. 700). Ob das *intra vitam* bei erhaltenem Tonus aller Muskeln wirklich möglich ist, kann bezweifelt werden. Das aber ist sicher richtig, daß eine gewisse Labilität des Stimmlippenniveaus vorhanden sein muß.

Eine nennenswerte wirkliche Drehung der Stellknorpel um eine vertikale, in der Luftröhrenrichtung liegende Achse erfolgt wegen der Eigenschaft des Gelenkes als Zylindergelenk nicht, dagegen gibt es eine bei der Projektion in der Längsrichtung der Luftröhre auftretende Scheindrehung um diese Achse.

Entsprechend der Natur des Zylindergelenkes ist noch eine zweite, in diesem Falle auch durch die Kapsel und Bänder zugelassene Bewegung möglich, die Verschiebung der Stellknorpel auf der schrägen Gelenkfläche des Ringknorpels. Durch Betätigung dieser Bewegung wird der Abstand der beiden Stellknorpel voneinander und damit auch die Stimmritzenweite verändert, wegen der schiefen Lage der Gleitfläche auch zugleich die Höhelage der Stimmritze.

IV. Die bewegenden Kräfte im Kehlkopf²⁾.

1. Übersicht.

Der größte Teil der Kehlkopfmuskulatur stellt einen Sphinkter für die Luftröhrenmündung dar. Dieser Schließmuskel stammt von der Ringmuskulatur des Schlundes ab. Man kann an ihm, wie das untenstehende Schema

¹⁾ Arch. f. Anat. u. Entwicklungsgeschichte 1889. J. Neumann (Ungar. Arch. f. Med. 3, 204, 1894) gibt nach Tierversuchen an, daß der Glottisschluß stets im Tiefstande mit gesenkten Stimmfortsätzen erfolge. — ²⁾ Außer der im Text zitierten Literatur über die Kehlkopfmuskeln seien noch folgende Arbeiten genannt: Jelenffy, Der *M. vocalis* und die Stimmregister. Arch. f. d. ges. Physiol. 22 (1880). H. v. Meyer, Unsere Sprachwerkzeuge und ihre Verwendung zur Bildung der Sprachlaute, Leipzig 1880. Hooper, Experim. researches on the tension of the vocal bands. Harvard medic. school. Physiol. Labor. und Trans. Amer. Laryng. Assoc. 1883. Martel, Étude expérim. sur les fonctions du M. thyro-cricoidien, Arch. Physiol. norm. et pathol. 1883. Moura, Physiol. du muscle cricothyroïdien, Ann. d. malad. de l'or. et du lar. 1885. A. Jacobson, Zur Lehre vom Bau und der Funktion des *M. thyreoarytaenoideus* beim Menschen, Arch. f. mikr. Anat. 29 (1887). Hubert, Sur le mode de vibration des membranes et le rôle du muscle thyreoaryténoïdien, Compt. rend. Acad. scienc., Paris 1891. Stuart, The mode of closure

(Fig. 111) zeigt, drei Schichten unterscheiden. Durch die mehrfache Unterbrechung des Sphinkterzuges werden seine einzelnen Teile beim Menschen in den Stand gesetzt, die zwischen sie eingeschalteten Stellknorpel und mit ihnen die Stimmbänder in verschiedenartigster Weise zu beeinflussen.

Als diesem Sphinkter einigermaßen antagonistisch stellen sich einige längs oder schräg verlaufende Muskeln dar, der *M. cricothyreoideus* und teilweise die *Cricoarytaenoidei*.

Eine Beschreibung der Wirkung jedes einzelnen Muskels bleibt hier außer Betracht. Wir überblicken sie vielmehr zunächst in ihrem Ineinandergreifen, um dann die Wirkung einiger der wichtigsten noch näher zu betrachten.

Zum vollständigen Schluß der Stimmritze müssen sich außer den inneren Bändern der Stimmbänder auch die *Processus vocales* der Stellknorpel bis zur Berührung nähern und, was hiermit notwendig zusammenhängt, die Körper der Stellknorpel etwas nach der Medianlinie heranrücken. Die hauptsächlichste Sicherung dieses Zusammenhaltes geschieht durch die Wirkung des *M. arytaenoideus transversus*. So bestimmt aber dieser das Heranrücken der Stellknorpel im ganzen bewirkt, so wenig kann er allein den Glottisschluß bewirken, da seine isolierte Funktion die Stimmfortsätze vielmehr zum Klaffen bringen würde. Zum mindesten müssen daher die beiderseitigen *Mm. thyreoarytaenoidei vocales* sich gleichzeitig kontrahieren und die Einwärtsstellung der Stimmfortsätze aufrecht erhalten. Da aber weder der Schildknorpel noch die Stellknorpel feste Punkte darstellen, sie also durch Kontraktion des *M. vocalis* einander einfach genähert werden würden, müssen sie in Muskeln Rückhalt finden, die jener Wirkung des Stimmlippenmuskels entgegenwirken. Das leistet nach vorn zu natürlich der *M. cricothyreoideus*.

H. v. Meyer vergleicht die Unterbrechung des Muskelzuges *Cricothyreoideus—Thyreoarytaenoideus—Cricoarytaenoidei* treffend mit der Einschaltung des beweglichen Schulterblattes in den Zug des Muskelpaares: *M. serratus magnus* und *M. rhom-*

of the larynx, Journ. of Physiol. 1892. J. Neumann, Über einige bisher noch nicht beobachtete Bewegungen der Stimmbänder bei der Phonation, Internat. Zentralbl. f. Laryngologie 1894. Reinke, Untersuchungen über d. menschl. Stimmband, Fortschr. d. Med. 13, 469, 1895. H. Neumayer, Untersuchungen über die Funktion d. Kehlkopfmuskeln, Arch. f. Laryng. 4, 323, 1896. M. Grossmann, Experimentelle Untersuchungen ü. d. funkt. Ausschaltung einzelner Muskeln usw., Arch. f. d. ges. Physiol. 73, 184, 1898. Happel, Experimentelle Untersuchungen über die Funktion der einzelnen Kehlkopfmuskeln, Klin. Jahrb. 7, 189, 1898. Kuttner u. Katzenstein, Experimentelle Beiträge zur Physiologie des Kehlkopfes, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1898, S. 274. P. H. Eykman, Die Bewegung der Halsorgane usw., Arch. f. d. ges. Physiol. 105, 536, 1904. François-Franck, Explorations graphiques et photographiques simultanées des mouvements intrinsèques du larynx, Compt. rend. soc. biologie 1, 960, 1904. Katzenstein und du Bois-Reymond, Über stimmphysiologische Versuche am Hunde. Sitzungsber. d. physiol. Ges. Berlin, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1905, S. 551.

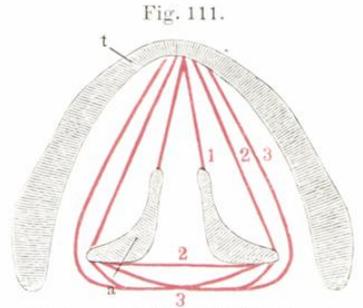


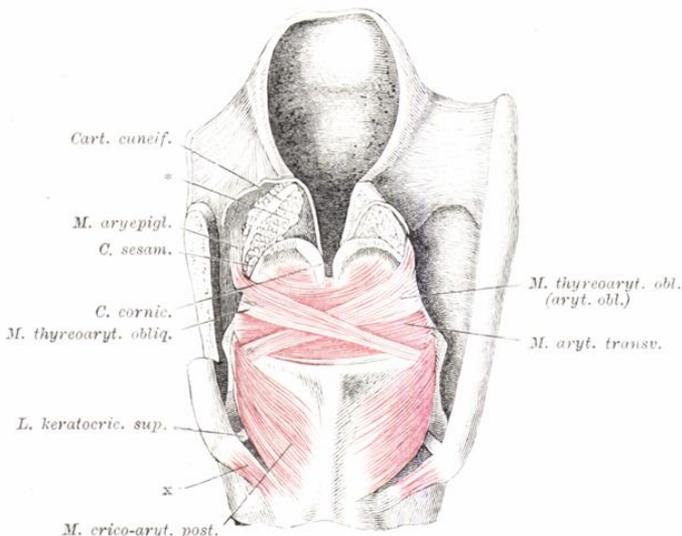
Fig. 111.
Horizontalschnitt des Kehlkopfes mit schematischer Einzeichnung der Sphinktermuskulatur (aus Heule-Merkel).

t Cart. thyreoidea, a Cart. arytaenoidea.

boides, die ja in Hinsicht auf die Bewegungsmöglichkeit des Scapula ebenfalls als Antagonisten bezeichnet werden können.

Schwerer verständlich ist die Muskelwirkung, die das Vornüberkippen der Stellknorpel verhindert. Da ein einzelner Muskel jederseits, der nur für diese

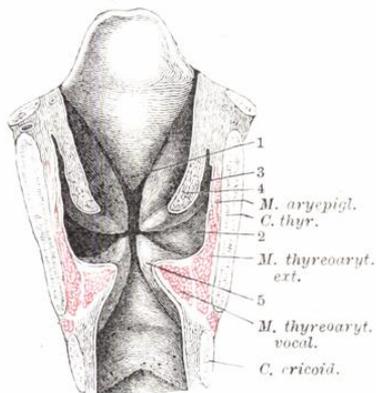
Fig. 112.



Kehlkopf von hinten (nach Henle-Merkel).

Die Schleimhaut des Ösophagus, soweit sie die Muskeln der hinteren Kehlkopf wand deckt, ist neben einem Teile der äußeren Platte der *Plica aryepiglottica* entfernt; die hintere obere Ecke der linken Lamelle der *Cart. thyreoidea* weggeschnitten. * Schleimdrüsen. x *M. kerato-cricoid.* (Var.).

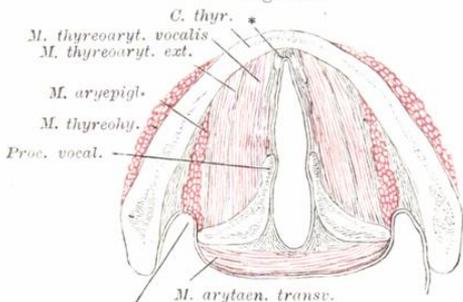
Fig. 114.



Frontalschnitt des Kehlkopfes, vordere Hälfte, von innen (nach Henle-Merkel).

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

Fig. 113.



Rec. pirif.

Horizontalschnitt des Kehlkopfes durch die Basen der *Cart. arytaenoides* (nach Henle-Merkel).

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

Wirkung in Betracht käme, nicht existiert, müssen Muskeln, die sonst noch andere Bedeutung haben, in dieser Richtung zusammenwirken. Den *Crico-arytaenoides posticus* betrachtet man als einen Abduktor des Stimmbandes.

fortsatzes und in dem eben erwähnten Sinne als Antagonisten des *M. vocalis* und des *Cricothyreoides* [viele ältere Autoren, von neueren unter anderen v. Meyer¹⁾, J. Neumann²⁾]. Damit aber der Schluß der Stimmritze in ihrer ganzen Länge erreicht wird, muß die abduzierende Komponente in der *Posticus*wirkung durch adduzierende Wirkung anderer, ebenfalls zugleich stimmbandspannender Muskeln kompensiert werden.

Adduktoren in diesem Sinne sind der *Thyreothyreoides internus* und *externus*, sowie Teile des *Cricothyreoides lateralis* und unter Umständen der *Cricothyreoides*. Diesen nach vorn ziehenden Muskeln steht als Rückhalt für die Stellknorpel das Ligament zum Ringknorpel, unterstützt von dem *Posticus*, einem anderen Teil des *Cricothyreoides lateralis* und vielleicht den *Arytaenoidei obliqui* gegenüber.

Beim Aneinanderlegen der Stimmbänder unter Offenbleiben einer kleinen dreieckigen Lücke zwischen den Stellknorpelkörpern („Gardinenstellung“ nach du Bois-Reymond und Katzenstein) fällt der *Arytaenoideus transversus* als nicht oder nicht stark kontrahiert aus der Reihe der übrigen genannten Muskeln heraus, und es erfolgt die Adduktion wahrscheinlich unter besonders starker Beteiligung des *Thyreothyreoides externus*. Hierüber siehe unten Näheres.

Mäßig weite Öffnung der Stimmritze ist der Effekt des elastischen Gleichgewichtszustandes aller ruhenden Kehlkopfmuskeln, wie es nach dem Tode besteht, wenn die Starre erloschen ist.

Diese „Kadaverstellung“ (v. Ziemssen) kann aber durch die Kontraktion der an Masse überwiegenden Glottisschließer bei der Totenstarre modifiziert und nahezu in Glottisschluß übergeführt werden [Neumayer³⁾].

Bei der ruhigen Atmung ist übrigens die Stimmritze etwas weiter als in der Kadaverstellung. Über die Gründe hierfür vgl. Kuttner u. Katzenstein (Arch. f. [Anat. u.] Physiol. 1898, S. 274).

Die aktive Erweiterung der Stimmritze beim Einatmen verlangt Erschlaffung der adduktorischen Fasern in den *Arytaenoidei transversus* und *obliquus*, zugleich auch wohl der *Mm. vocales* und gleichzeitige Kontraktion der Abduktoren (*Cricothyreoides posticus* in Gemeinschaft mit dem *Cricothyreoides lateralis*).

Bei dem Wechsel zwischen enger und weiter Stimmritze geht die Bewegung der Stellknorpel, wie schon oben bei Gelegenheit der Bewegungsmöglichkeiten bemerkt, nicht in so einfacher Drehung um eine vertikale Achse vor sich, wie man nach dem laryngoskopischen Bilde vermuten könnte, sondern es treten die erwähnten Hebungen und Senkungen der Stimmfortsätze hinzu, die die Gesamtbewegung komplizierter machen und in ihrer Bedeutung für die Stimmbildung nicht klar sind. Verhältnismäßig am einfachsten stellt sich noch die Wirkung des *M. arytaenoideus transversus* dar, wenn er die beiden Knorpel einander nähert. Dadurch aber, daß sie auf schiefer, etwas

¹⁾ a. a. O. — ²⁾ Ung. Arch. f. Med. 1894 und Stud. a. d. Anat. Instit. Budapest. Wiesbaden 1895, S. 204. — ³⁾ Arch. f. Laryng. 4, 323, 1897. Vgl. hierzu auch Fein, Die Stellung der Stimmbänder an der Leiche, Arch. f. Laryng. 11 (1901). Fein findet die Stimmbänder unmittelbar nach dem Tode adduziert und später durch die Totenstarre abduziert.

gebogener Bahn heraufgleiten, wird auch die Lage der Knorpelachsen zur Vertikalen etwas geändert. Doch ist das wohl von geringerer Bedeutung.

H. v. Meyer¹⁾ u. a. weisen mit Recht darauf hin, daß die längeren (hinteren) Fasern des Transversus neben der zusammenrückenden Wirkung auf die ganzen Stellknorpel diesen ein Drehungsmoment im Sinne der Abduktion der Stimmfortsätze erteilen müßten, wenn der Transversus allein funktionierte.

Die Muskeln, die in ihrer Gesamtheit das Vornüberkippen der Stellknorpel verhüten, treten durchweg in so eigentümlich schiefer Richtung an die Knorpel heran, daß die Wirkung des einzelnen eine verwickelte Drehung des Stellknorpels bedingt. Das gilt besonders für den kräftigen Posticus, der den Muskelfortsatz nach der Mitte und hinten unten hinzieht und damit ein Hintenübersinken des Knorpels nach der Medianlinie hin bewirkt. Dabei geht der Stimmfortsatz nach außen und oben, das Stimmband wird lateral verschoben und gehoben. Wird durch den Transversus das Auseinanderweichen der Stellknorpel verhindert, die Abduktion aber unterstützt, so muß die Stimmritze rautenförmige Gestalt annehmen.

Auch die Wirkung des *Cricoaerytaenoideus lateralis*, für sich allein betrachtet, ist verwickelt. Er zieht den Stellknorpel von der Höhe der Ringknorpelplatte seitwärts herunter — ist also insoweit Antagonist des *Arytaenoideus transversus*, zieht aber auch den Muskelfortsatz nach außen unten, hebt dadurch den Stimmfortsatz nach innen oben — ist also in dieser Hinsicht Antagonist des Posticus und des Transversus zugleich.

In anderer Hinsicht antagonistisch wirken die beiden „Adduktoren“ *Cricoaerytaenoideus lateralis* und *Thyreoaerytaenoideus externus* (der vom *Th. internus* s. *vocalis* unsicher abtrennbare Teil des Stimmuskels), indem ersterer den Muskelfortsatz abwärts, den Stimmfortsatz also aufwärts bewegt, während letzterer umgekehrt wirkt. — In richtiger Stärkeabstufung miteinander wirkend werden die beiden Muskeln den Stimmfortsatz der Mittellinie nähern, ohne ihn zu heben oder zu senken [H. v. Meyer²⁾].

2. Der Stimmlippenmuskel, *M. thyreoaerytaenoideus internus* s. *vocalis*.

Der *M. vocalis* ist der Stimmlippe eingelagert, bildet gewissermaßen dessen Hauptmasse. Die Figuren zeigen seine Anordnung besser als eine Beschreibung. Der freie Innenrand, das im engeren Sinne Stimmband genannte elastische Band, setzt sich jederseits an den Stimmfortsatz des Stellknorpels an, endigt vorn an der Innenwand des Schildknorpels.

Die elastischen Fasern im Stimmband, insbesondere an seiner vorderen Anheftung am Schildknorpel (wo ein kleines dreieckiges Knorpelstück [*Proc. vocalis anterior*] eingeschaltet ist), zeigen eine charakteristische, funktionell wohl nicht bedeutungslose Anordnung [Katzenstein³⁾]. Fig. 115 zeigt, nach Katzenstein, diese Anordnung schematisch. Die Faserzüge *ee'*, *ff'*, *bb'*, *cc'* stellen Hemmungen gegen die Verlängerung, die Bogen *aa'*, *dd'* dagegen Hemmungen gegen die Verbreiterung des dreieckigen Knorpels unter dem Zuge des Stimmlippenmuskels dar. Diese Faserzüge verleihen also diesem funktionell sehr stark in Anspruch genommenen Knorpelstückchen die nötige Widerstandskraft gegen den Zug des *Thyreoaerytaenoideus*.

¹⁾ Arch. f. Anat. u. Entwicklungsgeschichte 1889. — ²⁾ Ebenda 1889, S. 431. — ³⁾ Sitzungsber. d. Berl. physiol. Gesellsch., Juni 1901; Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1901, Suppl. S. 263, u. Arch. f. Laryng. 13 (1902).

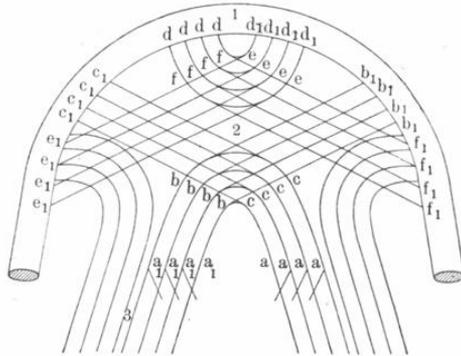
Die Funktionsweise dieses Muskels ist jedenfalls keine einfache. Früher, als man den bindegewebig-elastischen Innenrand als das für die Tongebung allein Maßgebende ansah, es mit einer gespannten Saite verglich („*Chorda vocalis*“), lag es nahe, den *M. vocalis* als Entspanner dieser Chorda zu betrachten, dessen Kontraktion ihre beiden Endpunkte einander nähern müßten. Man dachte ihn sich so recht eigentlich als Antagonisten des Cricothyreoideus, des „Spannmuskels“.

Bei dieser Auffassung mußte angenommen werden, daß die Tonhöhenregulierung durch Veränderung der Dehnung der Stimmbänder, mit anderen Worten durch Änderung des Abstandes ihrer vorderen und hinteren Endpunkte zustande komme, wobei den Muskeln an der Rückseite des Ringknorpels die Aufgabe zugeschrieben wird, die Stellknorpel auf dem Ringknorpel zu fixieren, während in der beschriebenen Weise der *M. cricothyreoideus* spannend, der *M. vocalis* entspannend auf das Stimmband wirkte. Grützner bezeichnet den *M. vocalis* in erster Linie als einen Erschlaffer des Stimmbandes *Sensu strictiori*, ohne freilich zu verkennen, daß die wichtigere funktionelle Bedeutung in anderer Richtung zu suchen ist. In manche Lehrbücher ist dann jener Ausdruck Grützners einfach in der Form übergegangen, daß der Vocalis der Erschlaffer der Stimmbänder sei.

Ich halte diese Auffassung mit Vierordt, Ewald u. a. für unzutreffend und würde den *M. vocalis* eher einen Spanner der Stimmlippe nennen. Es gibt ja heute wohl niemand mehr, der die Schwingungsweise der Stimmbänder

derjenigen zweier Gummimembranen gleichsetzen wollte, die über ein zylindrisches Rohr gespannt sind und sich mit ihren freien Rändern gerade noch berühren. Ewald hat in dem Prinzip der Polsterpfeifen (s. unten S. 736) das Gegenstück zu der zweilippigen Membranpfeife aufgestellt. Bei dieser die Schwingung in der Längsrichtung des Rohres, bei jener, der Polsterpfeife, in der Querrichtung. Ich halte es ja für noch nicht erwiesen, daß die Stimmbänder in allen Fällen nach dem Prinzip der Polsterpfeifen, also transversal zur Strömungsrichtung der Atemluft, schwingen. Daß aber ein seitliches Auseinanderweichen der Stimmbänder bei der Phonation erfolgt, zeigt die stroboskopische Kehlkopfbeobachtung (s. unten) aufs deutlichste. Während Zusammenziehung des *M. vocalis* die freien elastischen Stimmbandränder eher entspannen als spannen wird, muß sie die seitliche Durchbiegung des gesamten, der Stimmlippe eingelagerten Muskels erschweren, weil das Ganze fester, starrer wird. Man kann annehmen, daß bei starker Kontraktion des *M. vocalis* und verhältnismäßig schwächerer der „Antagonisten“ (*Cricothyreoideus* und *Cricoarytaenoidei*) die muskulöse Stimmlippenmasse wenig schwingungsfähig sein wird, während das schmale, freie,

Fig. 115.



Verlauf der elastischen Fasern im knorpeligen Proc. vocalis anterior (nach Katzenstein).

elastische Band leicht membranartig schwingt, daß dagegen bei mäßiger aktiver Kontraktion des Vocalis und mehr passiver Dehnung die Gesamtstimmlippe leichter in Schwingung gerät.

Die Haupttätigkeit des *M. vocalis* sehe ich also in der feineren Abstimmung der Spannung, bzw. des Widerstandes gegen Durchbiegung der Stimmlippe.

Die Tätigkeit des Muskels hierbei ist anders als bei den meisten Skelettmuskeln. Wenn auch bei diesen sich oft das Kontraktionsbestreben geltend machen wird, während Antagonisten oder äußere Kräfte die Verkürzung hindern, ist eine solche Aktion doch meistens eine unnütze Kraftvergeudung.

Daß die Reizung des im Stimmbande enthaltenen Muskels dessen Schwingungszahl beim Anblasen unter Umständen erhöhen kann, ist zweifellos. Die Versuche am künstlichen Kehlkopf mit lebendigen Muskeln als Stimmlippen (Harless, Ewald) sprechen sehr anschaulich hierfür. Aber auch das Umgekehrte ist möglich.

Ewald stellt einen solchen Kehlkopf her, indem er eine vierseitige Röhre (5×10 mm Querschnitt) dachgiebelförmig abschneidet und auf jede der Hälften einen Froschsartorius mittels eines Holzrahmens aufpreßt; kleine Pinsel leiten diesem den zur Erregung nötigen Induktionsstrom zu. Der Muskel kann sich bei der Reizung natürlich nicht verkürzen, gleichwohl geht der Ton dieses Kehlkopfes nach Anblasen sofort in die Höhe, sobald die Muskeln gereizt werden. Ewald bekam Tonerhöhung bis zu einer Quart.

Harless (op. cit. S. 598) hatte den *Rectus abdominis* verwendet und erhielt Tonvertiefung wahrscheinlich durch Verdickung des an seinen Enden nicht genügend befestigten Muskels bei der Reizung.

Ich verwende zur Demonstration eine etwas einfachere Vorrichtung als Ewald, die ebenfalls sehr deutlich die Tonerhöhung zeigt. Über eine Holzhöhre von ähnlichen Dimensionen wie bei Ewald, nur mit schmalerem Schlitz (5 mm), die aber gerade abgeschnitten ist, ist ein Sartorius so gespannt, daß sein einer Rand dem Holz fest aufliegt, während der andere den Innenrand des Spaltes nur lose berührt; dies ergibt eine einlippige Pfeife. Unter den Muskel sind an beiden Enden dünne Platindrähte geschoben. Die Pfeife wird mit einem Blasebalg schwach angeblasen, und nach Beginn des Tönens wird auf kurze Zeit mit Induktionsstrom gereizt.

Mit dieser wie mit Ewalds Vorrichtung kann man zeigen, daß die Tonerhöhung stärker ist, wenn der freie Muskelrand gereizt wird, als wenn die mehr nach dem aufliegenden Rande zu liegenden Teile gereizt werden.

In dem letztgenannten Versuche kann man schon einen Hinweis auf die Tatsache sehen, daß auch beim Stimmmuskel durch ungleiche Kontraktion einzelner Teile erstens die Spannung in den einzelnen Querportionen des Stimmbandes verschieden ausfallen muß, daß aber zweitens auch die Gestalt des ganzen Stimmbandes, im Querschnitt gesehen, sich ändert.

Daß solche Gestaltänderungen in vivo vorkommen, zeigt die Verschiedenheit des laryngoskopischen Bildes von dem in Bruststimme und dem in Falsettstimme tönenden Kehlkopf (s. unten).

Grützner insbesondere hat betont (op. cit. S. 54), daß außer den in der Stimmbandrichtung vom Schildknorpel zum Körper und Stimmfortsatz des Stellknorpels ziehenden langen Fasern des *M. vocalis* Fasern komplizierterer Richtung vorhanden sind, schräge Faserzüge, die in dem elastischen Bande und der Schleimhaut endigen und hauptsächlich aus der als *M. thyreoarytaenoideus externus* bezeichneten Muskelportion herkommen, zum Teil auch (nach Grützner) zu den falschen Stimmbändern hinauf verlaufen. Ihre

Wirkung läßt sich aus ihrem Verlauf nicht eindeutig bestimmen, da sie je nach dem Kontraktionszustande der übrigen Portion wechseln kann. Teils wird es sich um ein Herabziehen des ganzen Stimmbandes handeln, teils, wie Grützner meint, um Abplattung und Verbreiterung der schwingungs-
ähigen Platte.

Neuerdings hat auf die Dickenänderung H. Woods¹⁾ hingewiesen, demzufolge laryngoskopisch zu beobachten wäre, wie die vertikal verlaufenden Fasern im Thyreoarytaenoideus die Gestalt des schwingenden Teils verändern.

3. Der *M. cricothyreoideus*.

An diesem Muskel werden zwei Portionen unterschieden, die man auch als *M. cricothyreoideus rectus* und *obliquus* bezeichnet hat. Die Funktion beider Teile zusammen muß in gegenseitiger Annäherung des Ring- und Schildknorpels bestehen. Trotz dieser scheinbaren Einfachheit seiner Wirkungsweise ist viel über den Muskel geschrieben worden. Früher, als noch nicht viele Erfahrungen am lebenden Objekt gesammelt waren, lag es nahe, den Ringknorpel als *Punctum fixum*, den Schildknorpel als *Punctum mobile* zu betrachten. Magendie, Longet und viele neuere Autoren²⁾ haben aber gezeigt, daß eher das Gegenteil richtig ist; der Ringknorpel wird vorn gehoben. Denkt man sich die Stellknorpel auf dem Ringknorpel fixiert, so muß Kontraktion des Cricothyreoideus die beiden Ansatzpunkte des Stimmbandes voneinander entfernen, die Stimmlippen also spannen. Da aber der Cricothyreoideus nur ein Glied in dem ganzen Muskel- und Knorpelsystem ist, in dessen Mitte der Stimmlippenmuskel liegt, ist es nicht ganz richtig, ihn als den „Spannmuskel“ κατ' ἐξοχήν, zu bezeichnen. Es ist richtig, daß seine Ausschaltung durch Lähmung die Herstellung normaler Spannung verhindert und die Stimme rau und tief macht, aber dasselbe wäre bei einer isolierten Lähmung des *M. vocalis* der Fall.

Nach Ansicht einiger Autoren (Cohen-Tervaert³⁾ und andere) soll der Cricothyreoideus bei seiner Zusammenziehung den Winkel zwischen den beiden Schildknorpelplatten spitzer machen und auf diese Weise das Stimmband dehnen. Wenn derartiges beim Menschen überhaupt in nennenswertem Umfange vorkommt, so geschieht das doch wohl nur bei jugendlichen Individuen. Eine allgemeine Bedeutung kommt dieser behaupteten Muskelwirkung nicht zu.

Geteilt sind die Meinungen darüber, ob man den *M. cricothyreoideus* als Adduktor der Stimmfortsätze aufzufassen habe. Sicher ist, daß er für sich allein volle Medianstellung des Stimmbandes nicht bewirken kann. Seine „spannende“ Wirkung muß sich darin äußern, daß er Stimmfortsätze und Stimmband in annähernd gerade Linien zu stellen trachtet. Bei abduzierten Stimmfortsätzen, aber durch den Transversus zusammengehaltenen Stellknorpelkörpern (Rautenform der Glottis), würde der Cricothyreoideus-Zug adduzierend wirken. Bei aneinanderliegenden Stimmbändern, aber auseinandergezogenen Stellknorpeln (kleine dreieckige Glottis) kann der Zug des „Spannmuskels“ nur abduzierend auf die Stimmfortsätze wirken.

¹⁾ Journ. Anat. and Physiol. 27, 431, 1893. — ²⁾ Vgl. u. a.: Jelenffy, Arch. f. d. ges. Physiol. 1873; Onodi, Zentralbl. f. d. med. Wiss. 1888; Neumayer, Arch. f. Laryng. 1896; Jurasz, ebenda 1901; Barth, ebenda 1902. — ³⁾ Internat. Zentralbl. f. Laryng. 1886.

Zusammenfassung. Als wesentlich möchte ich noch einmal hervorheben, daß man die Funktion keines einzigen der Kehlkopfmuskeln mit einem Schlagwort bezeichnen kann, das die Wirkungsweise des Muskels auch nur einigermaßen erschöpfend charakterisiert. Wenn, um ein Beispiel herauszugreifen, Onodi in seiner Monographie über die Kehlkopfinnervation die Funktion der Kehlkopfmuskeln kurz folgendermaßen darstellt (S. 152 f.): „Es ist bekannt, daß die Erweiterung der Stimmritze, die Abduktion der Stimmbänder, der *Musculus cricoarytaenoideus posticus*, die Verengung der Stimmritze, die Adduktion der Stimmbänder, der *Musculus cricoarytaenoideus lateralis*, der *M. arytaenoideus transversus* und die *Musculi thyroarytaenoideus ext. und int.*, die Spannung der Stimmbänder der *M. cricothyreoideus*, den Schluß des Kehlkopfeinganges die *Musculi ary- et thyreoepiglottici* besorgen“, so ist das natürlich alles richtig, bedeutet aber eine viel zu einseitige Auffassung der Funktion jedes einzelnen Muskels, und Onodi selbst würde wohl nicht glauben, damit die Wirkungsweise der Muskeln genügend charakterisiert zu haben.

Bedenklich ist schon die übliche Bezeichnung des Cricothyreoideus als Spanner, des Vocalis als Entspanner, oder, wie bei Onodi, als Adduktor. Die Worte verführen zu einer schiefen Auffassung. Den Cricothyreoideus kurz als Spanner zu bezeichnen, hätte einen Sinn, wenn man behaupten könnte, daß er nur im groben zur Widerstandsleistung gegen den Zug des Vocalis da wäre, und alle feinere Spannungsregulierung vom Vocalis allein besorgt würde. Aber wer wird bei dem heutigen Stande der Kenntnisse so weit gehen wollen! Etwa das Gegenteil bringt man zum Ausdruck, wenn man mit Simanowski¹⁾ den Cricothyreoideus als musikalischen Muskel bezeichnet, der die Tonhöhe reguliert. Das ist eine noch gröbere Auffassung.

Wie kompliziert die Verhältnisse der Muskulatur und Innervation des Kehlkopfes sind, ergibt sich insbesondere aus dem nachfolgenden Kapitel und ganz speziell aus dem Problem der Medianstellung der Stimmlippen bei Posticuslähmung, das sich in so seltsamer Weise in den Mittelpunkt des Interesses und der Debatte geschoben hat.

Einzelnen Muskeln im Kehlkopf muß man, wie wir sahen, geradezu in sich selbst antagonistische Wirkungen zuschreiben, wie man den *M. cricoarytaenoideus lateralis* und den *Arytaenoideus transversus* sowohl als Adduktoren, wie als Abduktoren in Anspruch nehmen muß. Die anatomische Einheit ist hier keine physiologische, funktionelle Einheit. Außerdem kann ein und dasselbe Faserbündel verschieden wirken, je nach der Kombination mit der Wirkung dieses oder jenes anderen Muskels. Die Hauptquelle all dieser Komplikationen liegt in der vielseitigen Beweglichkeit des Stellknorpelgelenkes.

V. Die Innervation des Kehlkopfes²⁾.

1. Allgemeines.

Die Darstellung der Innervationsverhältnisse des Kehlkopfes bietet zurzeit noch Schwierigkeiten. In mehr als einem wichtigen Punkte sind die Auffassungen, ja sogar die tatsächlichen Angaben der Autoren widersprechende,

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 42, 104, 1888. — ²⁾ Vgl. hierzu Onodi, Die Anatomie und Physiologie der Kehlkopfnerven. Berlin (Coblenz) 1902.

und es ist speziell für den Physiologen nicht leicht, den Wert der einzelnen Argumente gegeneinander richtig abzuwägen, da hier offenbar die Pathologie das letzte Wort zu sprechen hat. Gerade beim Kehlkopf mit seiner beim Menschen, gegenüber selbst den höchsten Wirbeltieren so außerordentlich gehobenen Bedeutung und funktionellen Vervollkommnung ist es besonders mißlich, das Tierexperiment zur Entscheidung heranzuziehen. Wo die vivisektorischen Erfahrungen an Katzen, Kaninchen, Hunden und Affen mit den Erfahrungen der Kliniker schlecht übereinstimmen, wird man geneigt sein, den letzteren ein wesentlich höheres Gewicht beizulegen. Das Unglück will es nun noch gar, daß auch die Laryngologen unter sich, und ebenso die Vivisektoren unter sich zu so ungleichen Resultaten gekommen sind, daß kaum eine andere Deutungsmöglichkeit bleibt, als die Annahme wichtiger Verschiedenheiten der physiologischen Verhältnisse nicht nur bei den verschiedenen Tierarten, sondern in gewissem Maße sogar bei den einzelnen Individuen.

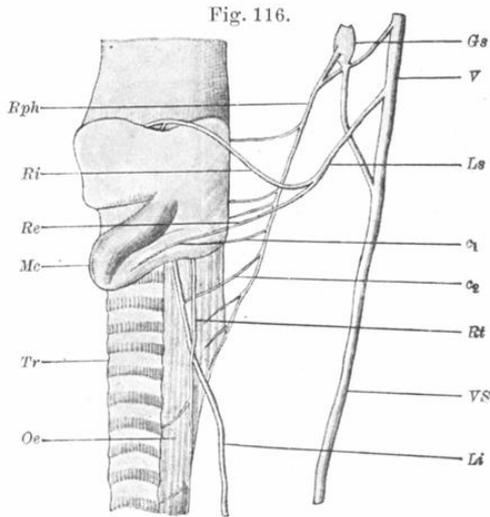
Bedeutsame, den Laryngologen fernliegende Probleme der allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie spielen in das fragliche Gebiet mit hinein und harren zum Teil noch der Lösung.

Diese Gründe bedingen es, daß wir eine befriedigende Darstellung der Innervationsverhältnisse des Kehlkopfes zurzeit noch nicht besitzen, und

der Verfasser ist sich darüber klar, daß die vorliegende Behandlung des Stoffes, auch abgesehen von der durch die Raumverhältnisse bedingten Kürze, eine befriedigende nicht sein kann und vor allem in der Ausnutzung des klinischen Materials Lücken bestehen lassen mußte, die dem Kliniker auffallen mögen.

Der Kehlkopf erhält jederseits zwei Nerven, einen *N. laryngeus superior* und *inferior*. Ihre feineren Verästelungen und Verbindungen weisen mannigfaltige Varietäten auf. Sie bleiben nicht streng auf einer Seite, sondern können auf die Gegenseite übergreifen¹⁾, und zwar scheint dies besonders bei den sensiblen Nervenfasern der Fall zu sein.

Zwischen oberem und unterem Kehlkopfnerven sind ebenfalls Verbindungen vorhanden (Hyrtl). Beim Hunde ist ein besonderer Kommunikationsast



Kehlkopfnerven (Hund) nach Onodi.

Gs oberes Ganglion des Hals-sympathicus. *V* Vagus. *Ls* oberer Kehlkopfnerv. *Rph* Ramus pharyngeus vagi. *Ri* Ramus internus *n. lar. sup.* *Re* Ramus externus *n. lar. sup.* *c1* Verbindung zwischen dem *Ram. pharyng. vagi* und dem *Ram. ext. n. lar. sup.* *c2* Verbindung zwischen dem *Ram. phar. vagi* und dem unteren Kehlkopfnerven. *Rt* Ramus tracheal. *n. lar. sup.* *VS* Vagosympathicus. *Li* unterer Kehlkopfnerv. *Mc* Musculus cricothyreoideus. *Tr* Luftröhre. *Os* Speiseröhre.

¹⁾ Gegenbaur, Mandelstamm, Weinzweig, Onodi u. a.; Literatur im einzelnen s. bei Onodi.

zwischen dem *Ramus pharyngeus Vagi* und dem *Recurrrens* festgestellt worden (s. Fig. 116 a. v. S.).

Erwähnenswert ist hinsichtlich des *Recurrrens* noch, daß sein seltsamer Verlauf um den Aortenbogen bzw. die *Arteria subclavia* herum nicht bei allen Tieren gefunden wird. Tiere mit langem Halse, wie Lama oder Vicugna, haben einen *Laryngeus inferior*, der direkt zum Kehlkopf tritt (v. Schuhmacher¹⁾).

Einen besonderen *N. laryngeus medius*, wie ihn Exner beim Hund und Kaninchen als Ast des *Ramus pharyngeus n. vagi* fand, besitzt der Mensch nicht, doch sind funktionell gleichwertige Fasern vorhanden, die nur nicht zu einem besonderen Nervenstämmchen zusammengefaßt sind. Beim Hunde wechseln die Verhältnisse (Katzenstein²⁾).

Die übliche Lehre, daß der *N. laryngeus inferior s. Recurrrens* der hauptsächlichste motorische Nerv, der *N. laryngeus superior* der sensible Nerv des Kehlkopfes und zugleich der Bewegungs-nerv für den *M. cricothyreoideus* sei, steht festbegründet³⁾. Im einzelnen aber gibt es eine Menge Schwierigkeiten, die, wie oben angedeutet, hauptsächlich darauf beruhen, daß bei den geeigneten Versuchstieren die Stimme wenig modulationsfähig, der Einfluß der Schädigung einzelner Muskeln und Nerven auf ihren Klang also nicht leicht zu studieren ist, beim Menschen andererseits streng isolierte Schädigungen schwer zur einwandfreien Beobachtung kommen.

Feststehend ist folgendes: Zerstörung eines *N. recurrens* bedingt Stillstand der gleichseitigen Stimmlippe, Zerstörung der oberen Kehlkopf-nerven vernichtet die Kehlkopfflexe und macht die Stimme rau und heiser. Letzterwähnte Tatsache beruht ersichtlich auf der Lähmung des *M. cricothyreoideus*, der normalerweise teils als aktiver Spanner des Stimmbandes, teils als elastischer Widerstand gegen die spannende Wirkung der nach hinten ziehenden Muskeln und gegen die Kontraktion des *M. vocalis* selbst in Betracht kommt und die Stellung von Ring- und Schildknorpel gegeneinander beherrscht.

2. Die Wirkung der Reizung und Durchschneidung der Kehlkopf-nerven.

Der motorische Anteil des *Laryngeus superior* liegt im *Ramus externus*. Seine isolierte Durchschneidung hat schon Longet⁴⁾ ausgeführt, und zwar am Hunde, dessen Gebell danach rau wurde. Unter Vierordts Leitung arbeitend erzielte G. Schmidt⁵⁾ denselben Effekt, auch durch Ablösung des Muskels selbst. Die Stimme wurde deutlich tiefer, besonders bei beiderseitiger Durchschneidung, außerdem das Stimmband ersichtlich schlaff und minder präzise in seinen Bewegungen. Hohe Töne wurden unmöglich.

Ähnlich ist nach Angaben von Pathologen der Erfolg isolierter Lähmung des *Cricothyreoideus* beim Menschen⁶⁾.

Elektrische Reizung des *Ramus externus* spannt die Stimmlippen und nähert Ring- und Schildknorpel einander (Longet, l. c. Jelenffy⁷⁾, Schech⁸⁾)

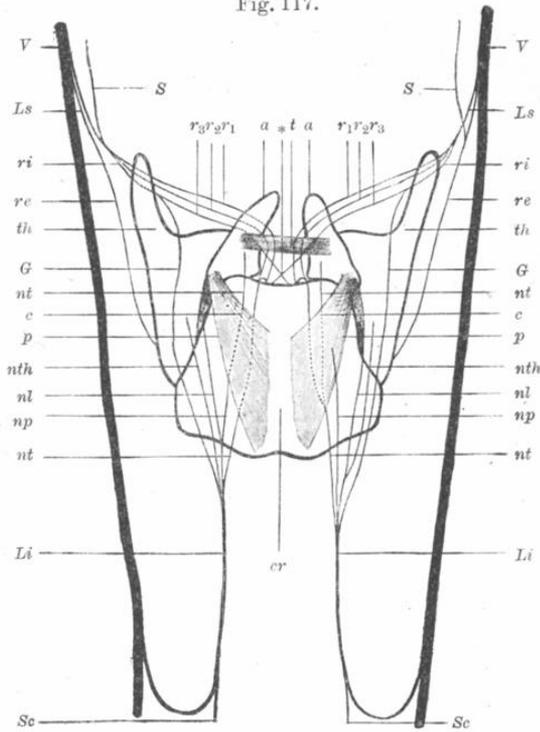
¹⁾ Anatom. Anz. 28, 156, 1906. — ²⁾ Arch. f. Laryngol. 10. — ³⁾ Nach Neumayer, Sitzber. Münch. morph.-physiolog. Ges. 14, 142, 1899, soll beim Menschen der *M. transversus* und *M. aryepiglotticus* gemeinsam vom *Lar. sup.* und *inf.* versorgt werden. — ⁴⁾ Traité de physiologie. 3, 730 (3. Aufl.), Paris 1869. — ⁵⁾ Die Laryngoskopie bei Tieren, experim. Stud. a. d. physiol. Institut Tübingen 1873. — ⁶⁾ Vgl. Riegel, Deutsch. Arch. f. klin. Med. 7, 204, und Handb. d. spez. Path. u. Ther. von v. Ziemssen 4, 1, 440. Leipzig 1876. — ⁷⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 7 (1873). — ⁸⁾ Berlin. Klin. Wochenschr. 1873 und Zeitschr. f. Biol. 9, 270, 1873.

und andere). Auf die Stimmlippen hat die Superior-Reizung adduzierenden Erfolg nur dann, wenn die Stimmfortsätze vorher bis zur Kadaverstellung abduziert waren. Glottisschluß kann sie nie bewirken. Nach Kuttner¹⁾ und Katzenstein¹⁾ wird bei beiderseitiger Kontraktion des *M. cricothyroideus* eine geringe Verschmälerung der Stimmritze erzielt, bei einseitiger eine annähernde Parallelstellung der Stimmbänder. Diese Autoren sehen hierin jedoch keinen eigentlichen Adduktionsvorgang, sondern eine durch die stärkere Spannung bewirkte Verschiebung der Stellknorpel und des Ringknorpels. Übrigens wird bei durchschnittenem Recurrens die Glottis etwas weiter, wenn man auch den *Laryng. superior* durchschneidet. Dieselbe Wirkung hat aber auch Cocainisierung der Schleimhaut (s. unten S. 714).

Die Verengerer und Erweiterer der Stimmritze, bzw. die zu ihnen führenden motorischen Nerven weisen nach Grützner²⁾ Unterschiede der elektrischen Erregbarkeit auf, die sich übrigens nicht als einfach quantitative darstellen. Bei schwacher Reizung des Vagus sah Grützner Verengerung,

bei starker Reizung Erweiterung der Glottis. Auch Simanowski³⁾ fand diesen Unterschied. Andere Autoren kamen indessen zu abweichenden, zum Teil gegensätzlichen Ergebnissen. Grützner sieht in dem Verhalten ein Analogon zu dem Ritter-Rolletschen Unterschiede der Erregbarkeit der Nerven, die beim Frosch zu Beugern und Streckern führen. Auch die zeitlichen Verhältnisse sind nicht ohne Bedeutung. Über weitere ähnliche, in

Fig. 117.



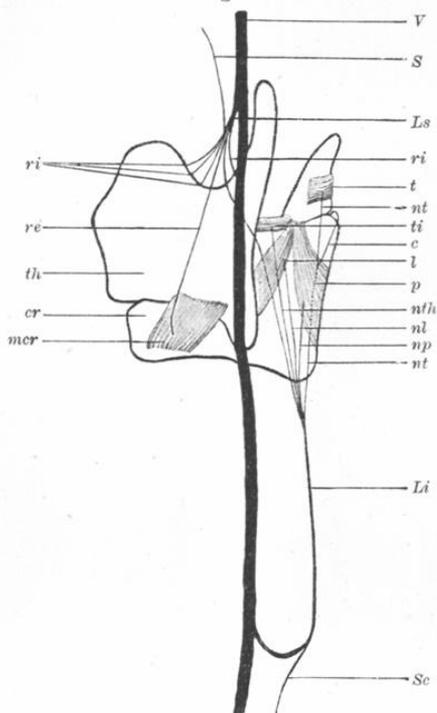
Verlauf und Anordnung der motorischen und sensiblen Nerven des menschlichen Kehlkopfes (nach Onodi).

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. r₁r₂r₃ Schleimhautzweige des oberen Kehlkopfnerven. G Galenische Schlinge. * Kreuzung der sensiblen Fasern. th Schildknorpel. a Gießkannknorpel. cr Ringknorpel. l *Musculus cricoarytaenoideus lateralis*. t *Musculus arytaenoideus transversus*. Li unterer Kehlkopfnerv. nt Nerv des *Musculus arytaenoideus transversus*. c Verbindungsweig. np Nerv des *Musculus cricoarytaenoideus posticus*. nl Nerv des *Musculus cricoarytaenoideus lateralis*. nth Nerv des *Musculus thyroarytaenoideus*. Sc Verbindung mit dem Sympathicus und mit den Herznerven.

¹⁾ Arch. f. Laryngol. 8, 7 des Sep.-Abdr. — ²⁾ Breslauer ärztl. Zeitschr. 5, 190, 1883. — ³⁾ Internat. Zentralbl. f. Laryng. 1886.

ihrer Deutung aber nicht recht klare Feststellungen vgl. Hooper¹⁾, Livon²⁾, Burger³⁾ (bzw. Grützners Ref. hierüber in d. *Ergebn. d. Phys.* 2, 471 f., 1902.)

Fig. 118.



Verlauf und Anordnung der motorischen und sensiblen Nerven des menschlichen Kehlkopfes (nach Onodi).

V Vagus. Ls oberer Kehlkopfnerv. ri der innere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. re der äußere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. S Verbindung mit d. sympathischen Nervensystem. r₁ r₂ r₃ 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*.

fand an ausgeschnittenen Kehlköpfen verschiedener Schlachttiere die Postici länger erregbar als z. B. die Vocales. Das gleiche gibt Chauveau¹¹⁾ an.

Man wird bei den in Rede stehenden Verhältnissen nicht nur ungleiche Erregbarkeit der einzelnen Muskelnerven in Betracht ziehen müssen, sondern auch die Konkurrenz entgegengesetzt wirkender Fasern zu einem und demselben Muskel, Hemmungs- oder Verlängerungsnerven.

Auch in der Geschwindigkeit des Absterbens der Kehlkopfmuskeln sind Unterschiede beobachtet worden. Die Angaben widersprechen sich aber in diesem Punkte sehr. Jeanselme⁴⁾ und Lermoyez⁴⁾ fanden bei an Cholera gestorbenen Menschen drei Stunden nach dem Tode die *M. thyreoarytaenoidei* noch gut erregbar, die Postici unerregbar. Semon⁵⁾ und Horsley⁵⁾, Burger⁶⁾, Onodi⁷⁾ und andere fanden Unterschiede im gleichen Sinne bei getöteten Tieren. Jelenffy⁸⁾ vermutet als Ursache hierfür schnellere Auskühlung des Posticus.

Onodi (l.c.) wollte das nachprüfen, indem er einen der freigelegten Postici künstlich erwärmte; dieser Muskel reagierte sogar weniger lange als der nicht erwärmte. Wenn allerdings Onodis Angabe wörtlich zu nehmen ist, und er sein Muskelpräparat mit Wasser erwärmte, so ist sein Resultat nicht merkwürdig; jedenfalls ist Jelenffys Hypothese damit nicht widerlegt.

Übrigens liegen auch Angaben vor, die eine andere zeitliche Folge des Absterbens behaupten. So sah H. Krause⁹⁾ zuerst den *Cricothyreoideus* absterben. Grützner¹⁰⁾

¹⁾ New York med. Journ. 1885, 1887, 1888. — ²⁾ Archives de physiol. norm. et path. 1890, p. 587. — ³⁾ Onderzoek. physiol. Labor. Utrecht 5, I, 268, 1899 und Arch. f. Laryng. 9 (1890). — ⁴⁾ Archives de physiol. norm. et path. 1885. — ⁵⁾ Brit. med. Journ. 1886. — ⁶⁾ Arch. f. Laryngol. 1899. — ⁷⁾ Die Anatomie und Physiologie der Kehlkopfnerven. Berlin 1902. — ⁸⁾ Berlin. klin. Wochenschr. 1888. — ⁹⁾ Ebenda 1892. — ¹⁰⁾ Ergebnisse der Physiol. 1902, II, 473. — ¹¹⁾ Compt. rend. Acad. Scienc. 87, 138, 1878.

Es fehlt somit noch eine hinreichend klare Feststellung des Sachverhaltes. Insbesondere ist bei den vorliegenden Mitteilungen mehrfach nicht ersichtlich, ob direkte oder indirekte Reizung vorlag, da nicht curarisiert war. Bestimmt zu behaupten, daß der Posticus oder sein motorischer Nerv aus in ihrer Struktur liegenden Gründen früher absterben als die Adduktoren, ist zurzeit nicht möglich. Auch in der Deutung der Erregbarkeitsverhältnisse der Abduktoren- und Adduktorenerven ist, wie bemerkt, Vorsicht angezeigt.

Da die schnell und präzise arbeitenden Muskeln auch schnell abzusterben und zu erstarren pflegen, zieht Ewald aus dem behaupteten früheren Absterben des Posticus den Schluß, daß dieser Muskel die feinste Regulierung der Stimmlippen-spannung und damit der Tonhöhe bewirke. Gerade für den Posticus ist das allerdings nicht so recht wahrscheinlich. Durch Ewalds Untersuchungen¹⁾ wissen wir ferner, daß die in feiner Abstufung arbeitenden Muskeln in besonderem Maße vom Labyrinth beherrscht werden. Ewald hat für Tiere, Stern²⁾ für den Menschen angegeben, daß bei Labyrinthstörungen (Taubstummheit beim Menschen) die Präzision der Kehlkopfeinstellungen leidet.

Bemerkenswert ist im Hinblick auf die motorische Funktion des Recurrens die Feststellung Katzensteins³⁾, daß Reizung dieses Nerven unter gleichen Umständen an Hund und Katze bei ersterem Tiere zur Verengerung, bei letzterem zur Erweiterung der Stimmritze führt, ganz entsprechend den Verhältnissen bei Hirnrindenreizung, die beim Hunde leichter Adduktion, bei der Katze Abduktion bewirkt. Das mag mit der vorwiegend inspiratorischen Phonation bei der Katze, der expiratorischen beim Hunde zusammenhängen (Katzenstein).

Durchschneidung beider *N. laryngei inferiores* gefährdet das Leben erwachsener Tiere kaum, wohl aber dasjenige junger Tiere. Schon Legallois⁴⁾ sah bei ganz jungen Hunden danach Erstickung eintreten. Dreiwöchige Katzen starben nach wenigen Tagen, drei Monate alte nur infolge von heftigen Bewegungen. Bei Kaninchen ist die Gefahr geringer. Besonders gefährdet scheinen Pferde nach der Operation zu sein; es folgt „Kehlpfeifen“ und Tod (Günther⁵⁾). Die einzelnen Tierarten verhalten sich also merklich verschieden. Von Bedeutung ist jedenfalls die Art der Operation. Reizungserscheinungen in der Wunde und am degenerierenden Nervenstumpf dürften in manchen Fällen die Sachlage kompliziert haben.

Der Tod erfolgt durch Erstickung. Die Stimmritze kann nach beiderseitiger Recurrensdurchschneidung nicht über Leichenstellungsweite verbreitert werden, die wohl für die ruhige Atmung ausreicht⁶⁾, nicht aber für

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 63 (1896). — ²⁾ Ebenda 60 (1895). — ³⁾ Arch. f. Laryngol. 10. — ⁴⁾ Expériences sur le principe de la vie, Paris 1812 und Oeuvres (éd. Pariset) 1, 169 ff. Paris 1824. — ⁵⁾ Zeitschr. f. d. ges. Tierheilkde. 1834. Weitere Erfahrungen über die Wirkung der Recurrensdurchschneidung siehe bei: Reid, Edinb. med. and surg. Journ. 1839; Longet, Gaz. méd. Paris 1841; Stilling, Arch. f. d. ges. Med. 1842; Bernard, Arch. gén. de méd. 1844; Mendelssohn, Arch. f. d. physiol. Heilkde. 1845; Traube, Beitr. z. exper. Path. u. Ther. 1846; Fowelin, Diss. Dorpat 1851; Arnsperger, Virchows Arch. 1856; Panum, Schmidts Jahrbücher 1857; Valentin, Die Einflüsse der Vaguslähmung usw. Frankfurt 1857; Budge, Virchows Arch. 1859; Schiff, Lehrb. d. Physiol. 1858/59; Dalton, Treatise on human physiol. 1867; Scheet, Zeitschr. f. Biol. 1873; Schmidt, Laryngoskopie der Tiere, Tübingen 1783; Vierordt, Beitr. z. exper. Laryngoskopie, Tübingen 1876; Steiner, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1878; Semon u. Horsley, Arch. f. Laryng. 7; Katzenstein, Virchows Arch. 1892 und viele Neuere. — ⁶⁾ Semon sah unter 50 untersuchten Personen bei ruhiger Atmung nur bei 20 Proz. eine inspiratorische Glottisweiterung, bei 80 Proz. keine oder fast keine. Proc. roy. Soc. 48, 156 u. 403, 1890.

gesteigertes Atmungsbedürfnis. Bei heftiger Atmung, z. B. bei umhergejagten Tieren, kann namentlich der weiche Kehlkopf junger Tiere kollabieren und durch die Aspiration ventilartig vollkommen geschlossen werden¹⁾. Besonders leicht wird dies geschehen, wenn das Tier zu schreien sucht, oder der noch funktionsfähige *M. cricothyreoideus*, dessen Antagonisten ausgeschaltet sind, die Stimmlippen strafft und diese so verhindert, durch passives Auseinanderweichen dem Luftstrom nachzugeben. Daß bei der Tendenz zu inspiratorischer Erweiterung der *Cricothyreoideus* sich kontrahiert, ist unter normalen Verhältnissen selbstverständlich, und es wird das auch nicht ausbleiben, wenn der *Cricothyreoideus* noch der einzige funktionsfähige Muskel ist.

Die Aphonie nach beiderseitiger Recurrensdurchschneidung ist ohne weiteres verständlich, da ja der *Cricothyreoideus* keinen vollständigen Glottisschluß bewirken kann.

Die Frage, ob der Recurrens auch zentripetale Fasern führt, ist verschieden beantwortet worden und für den Menschen noch nicht sicher entschieden. Von neueren Autoren haben Semon²⁾ und Horsley²⁾, Burger³⁾, Luc⁴⁾, Grossmann⁵⁾, Onodi⁶⁾ und M. Schmidt⁷⁾ den Recurrens für rein motorisch erklärt, während Valentin⁸⁾, Longet⁹⁾, Rosenthal¹⁰⁾, Burckhardt¹¹⁾, Krause¹²⁾, Masini¹³⁾, Lüscher¹⁴⁾, Trifiletti¹⁵⁾, Kokin¹⁶⁾, Schrötter¹⁷⁾, Réthi¹⁸⁾ und Katzenstein¹⁹⁾ für gemischte Natur eintreten. Réthi zeigte insbesondere, daß beim Hunde die sensible Funktion des Recurrens zwar sicher vorhanden, aber eine „erborgte“ ist, insofern sie sofort erlischt, wenn der *Ramus communicans* der gleichen Seite durchschnitten ist. Katzensteins Versuche²⁰⁾ bestätigen dies zwar, zeigen aber andererseits, daß bei der Katze und dem Kaninchen der Recurrens in seinem ganzen Verlaufe neben den motorischen auch sensible Fasern führt. Reizung des intakten Recurrens bei der Katze führt zur Abduktion beider Stimmbänder. Reizung des zentralen Stumpfes des durchschnittenen Recurrens bewirkt Abduktion der entgegengesetzten Stimmlippe, wobei es gleichgültig ist, ob der Nerv hoch oder tief durchschnitten und gereizt wird. P. Schultz²¹⁾ und Dorendorf²¹⁾ kamen zum gleichen Resultat, als sie bei verschiedenen Tieren die Wirkung zentripetaler Recurrensreizung auf den Blutdruck prüften. Wie der Hund verhält sich auch die Ziege. Beim Affen sind zentripetale Fasern im ganzen Recurrens enthalten.

Zur Entscheidung, ob der Recurrens auch beim Menschen gemischt ist, mangelt die Grundlage. Ebenfalls fehlt es an tatsächlichen Erfahrungen darüber, welcher Art die zentripetalen Fasern im Recurrens bei den untersuchten Tieren

¹⁾ Vgl. dies. Handb. 1, 26 f. — ²⁾ Deutsche med. Woch. 1890, Nr. 31. — ³⁾ Berl. klin. Wochenschr. 1892, Nr. 30. — ⁴⁾ Les névropathies laryngées, Paris 1892, S. 33. — ⁵⁾ Zeitschr. f. klin. Medizin 32, 3/4. — ⁶⁾ Berlin. klin. Wochenschr. 1893, Nr. 27 ff. — ⁷⁾ Die Krankheiten d. ob. Luftwege, 2. Aufl. 1897, S. 79. — ⁸⁾ Lehrb. d. Physiol. I, 2, 1847. — ⁹⁾ Traité de physiol. 3, 534, 1869. — ¹⁰⁾ Die Atembewegungen und ihre Beziehungen zum *N. vagus*, Berlin 1862, und Hermanns Handbuch d. Physiol. IV, 2, 283 (unter Berufung auf Burkart). — ¹¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 1 (1868). — ¹²⁾ 62. Versammlung deutscher Naturforscher, Heidelberg 1869. — ¹³⁾ Sulla fisiopath. del ricorrente, Genova 1893. — ¹⁴⁾ Zeitschr. f. Biol. 35, N. F. 17, 2. — ¹⁵⁾ XI. Intern. med. Kongr. Rom 1894. — ¹⁶⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 1896, S. 622. — ¹⁷⁾ Vorlesungen über die Krankheiten des Kehlkopfes. — ¹⁸⁾ Sitzber. K. Akad. Wiss. Wien 107 (1898). — ¹⁹⁾ Arch. f. Laryng. 10, 2. — ²⁰⁾ Ebenda 10. — ²¹⁾ Ebenda 15 (1904).

sind, ob im engeren Sinne Empfindungsnerven, die von der Schleimhaut ausgehen, oder zentripetale Muskel- oder Gelenknerven. Ausfall an sensiblen Funktionen nach der Durchschneidung ist nicht festgestellt. Bekannt ist nur die Beteiligung des *Laryngeus inferior* an der Auslösung des Schluckaktes. Hauptsächlich geschieht diese freilich vom Superior aus, doch ist bei einigen Tieren der Inferior sicher beteiligt¹⁾.

Zum Schluckakt haben die Laryngei überhaupt mannigfache Beziehungen. Die motorischen Fasern für beträchtliche Teile der Pharynx- und Ösophagusmuskulatur entstammen dem *Lar. inf. recurrens*. Da beim Schlucken ein sehr fester Kehlkopfverschluß erfolgt, werden dabei alle sphinkterartig wirkenden Muskeln, wahrscheinlich überhaupt alle Muskeln des Kehlkopfes, innerviert. An der tödlichen Wirkung der beiderseitigen Vagotomie sind die Laryngei stark beteiligt. Der Ausfall der Recurrenswirkung bewirkt ein Anstauen der Speisemassen im Schlunde, die dann in den Kehlkopf gelangen können. Der Ausfall der Sensibilität in diesem und die Lähmung der Kehlkopfsphinkteren beraubt den Atmungskanal seiner Schutzmittel gegen das Eindringen verderblicher Substanzen. Die Schluckpneumonie beruht also zum großen Teil auf der Lähmung der Laryngei.

Die zentripetale Reizung des *Laryngeus sup.* oder der von ihm innervierten Schleimhaut bewirkt augenblicklichen Schluß der Glottis und Stillstand der Atmung in der augenblicklichen Phase.

Die von Exner und seinen Schülern studierten eigenartigen Lähmungserscheinungen, die nach Durchschneidung des sensiblen *Laryngeus superior* eintreten, finden im nächsten Abschnitte Berücksichtigung.

3. Die späteren Wirkungen der Lähmung der Kehlkopfnerve. Das Problem der Posticuslähmung und der Medianstellung der Stimmbänder.

Beobachtungen, die namentlich in Wien unter Exners Leitung über die Degeneration der Kehlkopfmuskeln nach Nervendurchschneidung angestellt wurden, haben zu ausgedehnten Kontroversen Anlaß gegeben, und gaben andererseits der allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie fruchtbare Anregungen. Mandelstamm²⁾ fand, daß nach Durchschneidung des *Lar. sup.* der *M. cricothyreoideus* bei einigen Tieren nicht entarte. Exner³⁾ erklärte dies mit der von ihm entdeckten Tatsache, daß beim Kaninchen und Hund noch ein besonderes, als *Laryngeus medius* bezeichnetes Nervenstämmchen zum gleichen Muskel tritt. Andererseits fand Exner³⁾, daß nach Durchschneidung des *Lar. sup.* die vom *Lar. inf.* innervierten Muskeln degenerierten. Dasselbe fand Möller⁴⁾ am Kehlkopf von Pferden (bei denen übrigens der *Lar. sup.* rein zentripetal ist).

Seine anfängliche Vermutung, der *Laryngeus sup.* sei motorisch für den ganzen Kehlkopf, ließ Exner⁵⁾ später fallen, als er sich bestimmt überzeugt

¹⁾ Vgl. dieses Handb. 2, 527 u. Kahn, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1903, Suppl. S. 386. Die ersten Beobachtungen stammen von Rosenthal (Die Atembewegungen und ihre Beziehungen zum *N. vagus*, S. 70, 229; Bidder, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1865, S. 429; Blumenberg, Diss. Dorpat 1865. Ferner über Beteiligung des Recurrens: Waller u. Prevost, Compt. rend. 2, 480, 1869 und Arch. physiol. norm. et path. 3, 185, 1870; Steiner, Verh. naturhist.-med. Ver. Heidelberg, N. S. 2 (1879). — ²⁾ Sitzungsber. d. Kaiserl. Akad. Wien (3) 85, 83, 1882. — ³⁾ Ebenda 89, 63, 1884. — ⁴⁾ Das Kehlpfeifen der Pferde, Stuttgart (Enke) 1888. — ⁵⁾ Zentralbl. f. Physiol. 2, 629, 1888.

hatte, daß seine peripherische Reizung keine Muskelzusammenziehungen zur Folge hatte (abgesehen vom Ast zum *M. cricothyreoideus*); Exner nahm nun mit Möller eine trophische Funktion irgendwelcher Art bei den Muskelästen des Superior an. Diese Auffassung spezialisierte Exner¹⁾ weiterhin dann in der Weise, daß er den Ausfall zentripetaler Leitung in diesen Ästen als Ursache für die Degeneration erkannte.

Die Durchschneidung des Superior kann nicht nur zur Degeneration der Stimmlippenmuskeln, sondern auch zu deren sofortiger fast vollständiger Lähmung führen (Exner). Allerdings scheinen beide Befunde nicht konstant zu sein. H. Munk²⁾ und seine Schüler Breisacher³⁾, Breisacher⁴⁾ und Gützlaff⁴⁾ haben weder Degeneration noch Lähmung *intra vitam* gesehen. Möglicherweise sind hier, wo es sich stets nur um einseitige Nervendurchschneidung handelt, die von Mandelstamm⁵⁾, Onodi⁵⁾ und anderen sichergestellten Überschreitungen der Medianlinie durch die Nerven von Bedeutung; auch scheinen Fasern, die für gewöhnlich im Superior verlaufen, gelegentlich im Inferior liegen zu können und umgekehrt.

Die Tatsache sowohl der einseitigen Stimmbandlähmung, wie der Muskelentartung nach einseitiger Durchschneidung des *N. laryngeus superior* kann jedenfalls nicht bezweifelt werden.

Die Lähmung beim Ausfall eines zentripetalen Nerven steht, wie Exner⁶⁾ zeigte, nicht vereinzelt da, sondern ist schon früher, besonders von Magendie und Bell, wiederholt beobachtet worden. Exner prägte zur Kennzeichnung dieser Abhängigkeit der Bewegungsfähigkeit von der Sensibilität das Wort Sensomobilität. Bei dem plötzlichen Eintritt der Lähmung ist möglicherweise auch an hemmende Einflüsse des frisch durchschnittenen Nerven zu denken. Das vollkommenste Analogon findet die paradoxe Kehlkopflähmung in der motorischen Lähmung der Oberlippe beim Pferde nach Durchschneidung des sensiblen Nerven dieses Gebietes.

Die Entartung nach Superior-Durchschneidung ist als Inaktivitätsatrophie anzusehen. Exner ließ durch Pineles⁷⁾ die gelähmt gewesenen Pferdekehlköpfe untersuchen. Die Muskelentartung war etwas verschieden von der bei Inferiordurchschneidung auftretenden, die das typische Bild der Entartung nach Durchschneidung eines gemischten Nerven ergibt. Jene war übrigens schon makroskopisch erkennbar.

Daß sowohl Lähmung wie Degeneration ausbleiben kann, hat auch Exner⁸⁾ konstatiert.

Die Medianstellung der Stimmlippe nach Posticuslähmung.

Nach experimenteller Durchschneidung des *N. laryngeus inf. recurrens*, sowie nach dessen pathologischer Zerstörung beim Menschen treten eigentümliche Erscheinungen am Stimmbande der gleichen Seite auf, deren Diskussion sich bis in die neueste Zeit hineinzieht.

¹⁾ Zentralbl. f. Physiol. 3, 115, 1889. — ²⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1891, S. 175 u. 542. — ³⁾ Zentralbl. f. d. med. Wissensch. 1899. — ⁴⁾ Zentralbl. f. Physiol. 5, 273, 1892. — ⁵⁾ l. c.; vgl. auch Weinzeig, Sitzungsber. d. Kaiserl. Akad. Wien (3) 86 (1882). — ⁶⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 48, 592, 1891; hier auch die ältere Literatur. Ähnliche Beobachtungen aus neuerer Zeit bei Mott u. Sherrington, Proc. Roy. Soc. 1895. — ⁷⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 48, 17, 1896. — ⁸⁾ Zentralbl. f. Physiol. 5, 589, 1892.

Rosenbach¹⁾ stellte 1880 fest, daß bei Kompression des Recurrensstammes zuerst die Funktion der Erweiterer leidet und die Verengerer erst in einem späteren Stadium in Mitleidenschaft gezogen werden. Auf Grund einer größeren Zahl von Fällen konnte Semon²⁾ 1881 diesem Satze allgemeinere Geltung verschaffen und ihn dahin ergänzen, daß bei organischer Erkrankung der Kehlkopfnerve zuerst die Erweiterer, bei funktioneller fast immer nur die Verengerer befallen werden (sogenanntes Semonsches Gesetz). Der *N. recurrens* wird nicht selten durch intrathoracale Tumoren, zuweilen auch durch Aortenaneurysmen³⁾ mechanisch geschädigt. Die erste hierdurch bedingte Erscheinung ist Beschränkung der Auswärtsbewegung der Stimmbänder, der Ausdruck einer isolierten Posticus-Parese oder Paralyse. Das Stimmband steht in der Ruhe in schräger Stellung, am hinteren Ende etwa 2 mm von der Mittellinie entfernt. Die Adduktion bei Phonationstendenz geschieht normal. Späterhin kommt dann die Erscheinung sekundärer Adduktion und dadurch bewirkte Medianstellung des Stimmbandes hinzu. Im Höhepunkte dieser Starre wird das Stimmband weder bei Inspiration abduziert, noch bei Phonation adduziert.

Im dritten Stadium endlich, in dem die Funktion des Recurrens völlig erlischt, sind sowohl die Adduktoren wie die Abduktoren gelähmt, und das Stimmband steht in einer schrägen Mittelstellung, etwa 2 bis 3 mm von der Mittellinie entfernt; man nennt diese Stellung mit v. Ziemssen die „Kadaverstellung“, obgleich, wie oben erwähnt (S. 699), bei der Leiche auch andere Stellungen (Adduktion) vorkommen (Neumayer⁴⁾, Fein⁵⁾).

Während über die Tatsachen, in erster Linie also über die allmähliche Veränderung des Lähmungszustandes, hinreichende Einigkeit der Autoren herrscht, ist das hinsichtlich der theoretischen Deutung und der Auffassung der Symptome nicht der Fall. Wohl die meiste Zustimmung findet, namentlich unter den Laryngologen, die Auffassung von Semon, nach der im ersten Stadium der Recurrenslähmung tatsächlich nur der Posticus gelähmt wird, im zweiten Stadium dann sekundäre Kontraktur der Adduktoren hinzukommt, die schließlich im dritten Stadium der Lähmung aller vom Recurrens versorgten Muskeln, also auch der Adduktoren, Platz macht.

Zu bemerken ist zunächst, daß auch bei Tieren nach Durchschneidung eines Recurrens zunächst noch Schrägstellung des Stimmbandes besteht, die erst nach einiger Zeit durch Adduktion in Medianstellung übergehen kann⁶⁾. Zu erklären bleibt, 1. warum bei pathologischer Recurrenslähmung der Posticus zuerst leidet, und 2. wodurch die spätere Medianstellung in solchen Fällen und auch im Tierexperiment bedingt ist.

In ersterer Hinsicht hat man eine größere Hinfälligkeit des *M. cricoarytaenoideus posticus* oder seines Nerven behauptet⁷⁾ und auf dessen frühes Absterben nach dem Tode oder nach Recurrensdurchschneidung hingewiesen. Wie oben erwähnt (s. S. 708), ist aber erstens diese Angabe nicht unbestritten,

¹⁾ Breslauer ärztl. Wochenschr. 1880, Nr. 2 u. 3. — ²⁾ Archives of Laryngol. 2 (1881). — ³⁾ Traube, Göschens deutsche Klinik 1860, Nr. 11 u. 1861, Nr. 27. — ⁴⁾ Arch. f. Laryngol. 4 (1897). — ⁵⁾ Ebenda 11 (1901). — ⁶⁾ Schech, l. c. H. Krause, Arch. f. Pathol. 98; 102. Verhandl. Physik. Gesellsch. Berlin 1883/84. Wagner, Arch. f. Pathol. 120. X. Internat. med. Kongreß 4, 191. — ⁷⁾ Semon u. Horsley, Brit. Med. Journ. 1886.

und ist es zweitens keineswegs sicher, ob dieses frühere Absterben, wenn es tatsächlich eintritt, durch eine spezifische Eigenart jenes Muskels (oder seines Nerven) bedingt ist. Ich möchte hierfür nicht mehr als eine gewisse Wahrscheinlichkeit gelten lassen, während die besondere Empfindlichkeit der Posticusnerven bei Erkrankungen nach dem Urteil der Kliniker sichergestellt zu sein scheint.

Grabower¹⁾ glaubte die größere Vulnerabilität des Posticus durch eine besondere Eigenart seiner motorischen Nervenendigungen begründen zu können, hat diese Ansicht indessen, wie du Bois-Reymond²⁾ und Katzenstein²⁾ mitteilen, wieder verlassen. Ewalds Vermutung, daß der Posticus für besonders präzise und fein abgestufte Wirkung zum Zwecke des musikalisch reinen Singens eingerichtet sei und darum auch besonders schnell absterbe, wurde schon oben erwähnt. Wie gerade der hauptsächlichste Abduktor für diese Funktion in Betracht kommen sollte, ist nicht recht klar.

Bemerkt möge noch werden, daß Grossmann³⁾ meinte, eine reine Posticuslähmung in dem Sinne, wie sie nach dem Rosenbach-Semonschen Gesetz als erstes Stadium der Recurrenslähmung auftreten sollte, habe noch niemand gesehen. Andere Autoren berichten aber über solche reinen Fälle in großer Zahl.

Die Hauptdiskussion knüpft sich an das zweite Stadium, in dem nach Semon und der Mehrzahl der Laryngologen⁴⁾ die ihres Hauptantagonisten beraubten Adduktoren in sekundäre Kontraktur, also eine spastische Tonus-erhöhung geraten sein sollten, während Grossmann (l. c.), eine Hypothese Wagners aufnehmend, in diesem Stadium schon den Ausdruck der totalen Recurrenslähmung sieht und das dritte Stadium — Kadaverstellung — auf hinzutretende Lähmung des *M. cricothyreoideus* bezieht. Wagner und Grossmann lassen also die Medianstellung des Stimmbandes der gelähmten Seite durch die Wirkung des Cricothyreoideus bedingt sein. Dafür schien zu sprechen, daß Durchschneidung des *N. laryngeus sup.* die experimentell erzeugte Medianstellung sofort verschwinden und in Kadaverstellung übergehen läßt. Die Möglichkeit, durch Cricothyreoideusreizung die Stimmbänder etwas zu adduzieren, geben selbst Gegner der Wagner-Grossmannschen Auffassung zu, wie Onodi, Kuttner und Katzenstein; in Krauses Beobachtung einer Adduktion als Erfolg zentripetaler Reizung des Recurrens könnte man auch den beim langsamen Absterben des Recurrens wirksamen Reiz finden, der die Medianstellung herbeiführte.

Sehr gewichtige Tatsachen sprechen aber gegen Grossmanns Anschauung. Vor allem geht die experimentell erzeugte Medianstellung zurück, auch wenn nicht der Superior durchschnitten, sondern nur die Kehlkopfschleimhaut cocainisiert wird (v. Mering⁵⁾ und Zuntz⁵⁾. Es ist also gar nicht die Entnervung des Cricothyreoideus, die die Kadaverstellung herbeiführt, sondern die Lähmung der sensiblen Endigungen in der Schleimhaut.

1) Arch. f. Laryngologie 7, 143. — 2) Ebenda 14, 13. — 3) Ebenda 6, 339. — 4) Bezüglich der Literatur im einzelnen und der von den verschiedenen Autoren geäußerten Ansichten vgl. das zitierte Werk von Onodi, die Arbeiten von Kuttner und Katzenstein, du Bois-Reymond und Katzenstein u. a. Hier können nur die wichtigsten Punkte erwähnt werden. — 5) Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1892, S. 163.

Krauses¹⁾ Beobachtung der Adduktion bei zentripetaler (elektrischer) Recurrensreizung ist von Burger²⁾ bestritten worden, allerdings, wie Burkart³⁾ vermutet, nur wegen zu tiefer Narkose der Versuchstiere Burgers. Die nachhaltigste, bis zu fünf Tagen dauernde Medianstellung erzielte Krause⁴⁾, wenn er am Recurrens einen chronischen Reiz setzte, indem er ihn auf ein Stück Kork aufband. Gegen die Auslösung der Adduktion durch zentripetalen Recurrensreiz ist geltend gemacht worden, daß sie auch erfolgt, wenn man den Nerven durch langsame Abkühlung ausschaltet (Fränkel⁵⁾ und Gad⁵⁾. Ob es berechtigt ist, hierbei von einer völlig reizlosen Ausschaltung zu sprechen, wie es geschehen ist, scheint mir immerhin zweifelhaft. Die Autoren berichten, daß bei zu starker oder zu langer Abkühlung Kadaverstellung eintrat, und glauben bei mäßiger Abkühlung nur die Posticusfasern auszuschalten, nicht aber einen Krampf der Adduktoren zu erzeugen. Wenn letzteres unbedingt zugegeben ist, so liegt doch die Möglichkeit einer anhaltenden leisen Reizung und dadurch bedingter Tonuserhöhung vor, die aus unbekanntem Gründen ebenso wie bei dem Krauseschen Versuch vorzugsweise die Adduktoren betrifft.

Von hohem Interesse ist der von Grossmann⁶⁾ angestellte Vergleich der Ausschaltung des Posticus durch Recurrensdurchschneidung mit der ein- oder beiderseitigen Exstirpation des Muskels selbst. Im letzteren Falle ist noch Abduktion bei Inspiration zu bemerken, wie auch du Bois-Reymond und Katzenstein (l. c.) bestätigen (durch Wirkung des *Cricoaerytaenoideus lateralis* und des *Arytaenoideus transversus*). Medianstellung tritt nicht ein⁷⁾; bei beiderseitiger Muskelabtragung ist Dyspnoe vorhanden, doch nicht so stark wie bei Recurrensdurchschneidung.

In den bisher erwähnten Versuchen war es nicht gelungen, im Tierversuch eine lange anhaltende Medianstellung des Stimmbandes zu erzielen; die einfache Recurrensdurchschneidung ergab, wenn überhaupt, dann nur bald vorübergehende Adduktionsstellung. Neuerdings haben nun du Bois-Reymond⁸⁾ und Katzenstein⁸⁾ in der Durchschneidung des Vagus unterhalb des Recurrensabganges ein Mittel gefunden, um nach vorheriger Abtragung des *M. cricoarytaenoideus posticus* anhaltende, fast völlige Medianstellung zu erzielen. Schon früher⁹⁾ hatten sie die Durchschneidung der Lungenäste von deutlicher Einschränkung der respiratorischen Glottisveränderungen gefolgt gesehen. Wird nun diese Operation an die Ausschaltung des Posticus angeschlossen, so folgt auf das Semonsche erste Stadium der Recurrenslähmung das zweite, wie es bisher experimentell nicht zu erreichen war. Nach der Ansicht der genannten Autoren, denen ich zustimme, ist in ihrem Operationserfolg derjenige Fall gegeben, der der Recurrenslähmung durch Geschwülste entspricht: Die Fasern zum Posticus haben — das muß angenommen werden — zuerst gelitten, Lähmung des Posticus ist eingetreten, die Schädigung der Lungenfasern schädigt den inspiratorischen Erweiterertonus, und die adduktorische Komponente des *Cricothyreoideus* und des *Thyreoaerytaenoideus* mit

¹⁾ Berlin. klin. Wochenschr. 1892. — ²⁾ Ebenda. — ³⁾ Ebenda. — ⁴⁾ Arch. f. Pathol. 98 u. 102. — ⁵⁾ Zentralbl. f. Physiol. 3 (1889). — ⁶⁾ Ebenda 3 (1897). — ⁷⁾ Grabower, Arch. f. Laryngol. 7, behauptet, auch nach Posticusabtragung trete Medianstellung ein. — ⁸⁾ Arch. f. Laryngol. 14. — ⁹⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1901, S. 513.

ihrem ungeschädigten Tonus kommt (ohne daß eine sekundäre Kontraktur anzunehmen wäre!) voll zur Geltung. Wo also, wie in den Semonschen Fällen, von Kehlkopfmuskeln nur der Posticus allein gelähmt war und doch Medianstellung bestand, ist es nach diesem Befunde von du Bois-Reymond und Katzenstein wahrscheinlich, daß eine Schädigung der zentripetalen Lungenfasern zugleich vorlag. Nicht ausgeschlossen ist natürlich, daß beim Menschen die Verhältnisse etwas anders liegen als beim Hund, und daß deshalb auch andere zentripetale Fasern, wenn sie gleichzeitig mit den Posticusfasern (oder nach diesen) geschädigt wurden, das Stimmband in Medianstellung bringen.

Es ist, wie man sieht, noch vieles von den Tatsachen und ihrer Deutung kontrovers. Sichergestellt scheinen mir auf diesem vielumstrittenen Gebiete folgende Punkte:

Ausschaltung eines *M. cricoarytaenoides posticus* allein bewirkt nicht Medianstellung der Stimmlippe.

Durchschneidung des *N. recurrens* bewirkt höchstens einige Tage anhaltende Medianstellung, und zwar um so sicherer und länger, je mehr das zentrale Stück des Nerven chronischen Reizungen ausgesetzt ist.

Eine lange dauernde Medianstellung und ein Analogon des zweiten Stadiums der Recurrenslähmung läßt sich beim Hunde experimentell erzielen durch Ausschaltung des Posticus und Durchschneidung des Vagus unterhalb des Recurrensabganges. Sie ist nicht auf einen Reizungszustand, sondern mindestens teilweise auf kombinierte Ausfallerscheinungen zurückzuführen. Dementsprechend scheint es mir nicht mehr sachgemäß, wenn man die Medianstellung als durch Kontraktur der Adduktoren erzeugt bezeichnet, insofern man unter Kontraktur eine durch abnorm starken Tonus erhaltene Dauerkontraktion versteht.

4. Die Zentralorgane der Kehlkopffinnervation.

Man hat viel darüber gestritten, ob die Kehlkopffasern im *Vagus* aus den eigentlichen Vaguskernen stammen, oder aus dem *Accessorius* kommen.

Während früher auf Grund der Versuche von Schech¹⁾ die Meinung vorherrschte, daß der *Accessorius* die Quelle der Kehlkopffasern sei, nimmt man jetzt fast allgemein an, daß die Fasern aus dem motorischen Vaguskern stammen. Besonders Grabower²⁾ konnte dies in sorgfältigen Untersuchungen feststellen; derselbe zeigte auch, daß die Kerne der beiden Nerven keineswegs ineinander übergehen. Einzelne reine pathologische Fälle kamen zur Hilfe, z. B. einseitige Recurrenslähmung bei Tabes, mit degenerierten Vaguswurzeln, aber intakten *Accessorius*wurzeln. Wenn Stimmlippenzuckung mit Zuckungen der vom *Accessorius* innervierten Nackenmuskeln zusammenfällt, liegt die Ursache in Reizzuständen am *Foramen jugulare*. Grossmann³⁾, Onodi (l. c.), Réthi⁴⁾ und andere treten gleichfalls für die Vagusnatur der Kehlkopfnerve ein.

Der *Sympathicus* sollte nach Onodi (l. c.) und Broeckaert⁵⁾ motorische Wirkung für die Kehlkopfmuskeln haben. P. Schultz⁶⁾ bestreitet das aber

¹⁾ Zeitschr. f. Biol. 9 (1873). — ²⁾ Zentralbl. f. Physiol. 3 (1889); Arch. f. Laryngol. 2. — ³⁾ Sitzungsber. d. Kaiserl. Akad. Wien 98 (1889/90). — ⁴⁾ Ebenda 1893. — ⁵⁾ Arch. f. Laryngol. 16. — ⁶⁾ Ebenda.

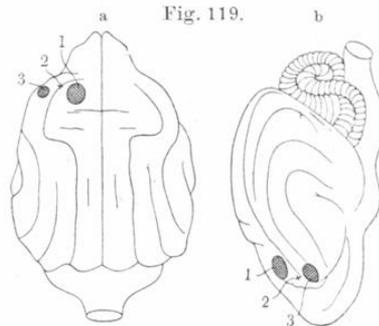
aufs bestimmteste. Onodi könnte durch Stromschleifen getäuscht worden sein. Jedenfalls müßte die Behauptung, daß quergestreifte Muskeln vom Sympathicus innerviert seien, mit sehr gewichtigen Beweisen gestützt werden. Solche fehlen bis jetzt.

Ein Rindenzentrum für die Kehlkopfbewegungen hat H. Krause¹⁾ gefunden, es liegt im *Gyrus praefrontalis (praecrucialis)* des Hundes. Einseitige Reizung dieses Gebietes bewirkt doppel seitige Stimmbandadduktion. Nach einseitiger Exstirpation dieses Zentrums verfolgte Krause die degenerierten Faserzüge und fand sie durch das *Corpus mamillare* verlaufend. Dieses Krausesche Zentrum ist seitdem vielfach bestätigt worden (Semon²⁾ und Horsley²⁾, Mott³⁾, Onodi (l. c.), Klemperer⁴⁾, Katzenstein⁵⁾, Russel⁶⁾, Broeckaert⁷⁾. Nicht bestätigt hat sich die Angabe, daß nach Exstirpation jenes Rindenteiles die Hunde stumm würden. Selbst beim großhirnlosen Hunde ist noch Phonation möglich (Goltz). Höchstens auf einige Wochen fehlt die Stimme, zuweilen bleibt die Operation fast ganz ohne Wirkung auf die Phonation (Klemperer, Katzenstein, Onodi). Katzenstein (l. c.) fand noch ein zweites Zentrum in der zweiten Windung, außerdem ein Rindenfeld für die Zunge, Gaumen und Lippen (s. Fig. 119).

Abduktion, also Glottiserweiterung, ist beim Hunde von der Hirnrinde aus nicht ohne weiteres zu erhalten, vielmehr erst, wenn die peripheren Verengerernerven durchschnitten sind. Dann bekommt man, wie schon ohne diese Maßregel bei der Katze (Semon und Horsley), auch beim Hunde abduktorische Wirkungen (R. Russel).

Sehr auffallend ist die von Klemperer⁸⁾ festgestellte Tatsache, daß Abzesse, in der Gegend des Krauseschen Zentrums künstlich erzeugt, keinerlei merkbaren Einfluß auf Stellung und Bewegung der Kehlkopfmuskeln haben.

Ob es ein phonatorisches Zentrum gibt, das die gesamte Stimmbildung beherrscht und jedenfalls subcortical liegen müßte, ist nicht einwandfrei festgestellt. Die Atmungsbewegungen des Kehlkopfes haben ihr Zentrum im Kopfmark. Grossmann hat dessen Lage genauer festgestellt (beim Kaninchen und Hund), indem er Querschnitte durch das Kopfmark machte, welche bis zum breitesten Teil der Rautengrube abwärts gehen konnten, ohne daß die respiratorischen Bewegungen erloschen. Onodi⁹⁾ glaubt ein spezielles, vom Atmungszentrum



Die Kehlkopfzentren im Hundegehirn (nach Katzenstein).

a Ansicht von oben. b Ansicht von der Seite. 1 Krausesches Kehlkopfbewegungszenrum. 2+ neues Rindenfeld für die gleichseitige Hälfte der Zunge, den Lippenwinkel, den weichen Gaumen. 3 neues Kehlkopfbewegungszenrum in der zweiten Windung.

¹⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1884. — ²⁾ Deutsche med. Wochenschr. 1890. — ³⁾ Brit. med. Journ. 1890. — ⁴⁾ Arch. f. Laryngol. 2. — ⁵⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1905, S. 398. — ⁶⁾ Proc. Roy. Soc. 58 (1895) u. Brit. med. Journ. 1895. — ⁷⁾ Flandr. méd. 2 (1895). — ⁸⁾ Arch. f. Laryngol. 2 (1897). — ⁹⁾ Neurol. Zentralbl. 1894 und Berlin. klin. Wochenschr. 1894.

getrenntes Phonationszentrum in der hinteren Vierhügelregion feststellen zu können. Bei Durchschneidung des Hirnstammes oberhalb dieser Stelle findet er Phonation noch möglich, nicht aber bei Durchschneidung unterhalb. Klemperer¹⁾ sprach sich gegen, Bechterew²⁾ für die Existenz des Onodischen Zentrums aus. Iwanow³⁾ sah bei Reizung der hinteren Vierhügelgegend denselben Erfolg wie bei Reizung des Krauseschen Rindenzentrums. Die Auslösbarkeit von Stimmäußerung durch Reizung an diesen oder tieferen Stellen des Hirnstammes steht also außer Zweifel, beweist aber meines Erachtens nicht die Existenz eines besonderen Phonationszentrums an jener Stelle. Ich finde keinen Beweis dafür, daß die bei der Atmung, beim Husten und dergleichen den Kehlkopf beherrschenden Zentralstellen nicht auch zur Innervation bei der Stimmbildung ausreichen sollten, zum mindesten bei Tieren mit ihren oft recht wenig modulationsfähigen Stimmen. Notwendig erscheint aber nach Analogie anderer Organfunktionen eine corticale Vertretung des Kehlkopfes (namentlich bei höheren Säugetieren), wie wir sie in Krauses Zentrum kennen. Daß dessen Abtragung die Phonation nicht hindert, ist nicht merkwürdig, sondern steht mit der sonstigen Funktion der Rindenzentren in gutem Einklang. Wir werden weder die Auslösung, noch die Koordination der Phonationsbewegungen in der Rinde suchen, sondern nur die Verknüpfung mit den übrigen Rindenfunktionen sensorischer und assoziativer Art. Ob für die immerhin recht komplizierte Leistung der Koordination der Stimmbildungswerkzeuge das Zentrum der Atmungsbewegungen genügt, wie es auch die niederen Säuger besitzen, oder ob speziell beim Menschen ein besonderes koordinatisches Zentrum im Sinne Onodis hinzukommt, wird erst noch zu ermitteln sein (vgl. hierzu auch dieses Handbuch 1, 29 ff. und 4, 349 f.). Für erwiesen halte ich seine Existenz nicht.

5. Die Kehlkopffreflexe.

Die hauptsächlichsten Reflexbewegungen am Kehlkopf sind folgende:

1. Der Stimmritzenschluß bei Reizung des Kehlkopffinnern oberhalb der Stimmbänder, wodurch das Eindringen fester, flüssiger oder gasförmiger irritierender Substanzen verhindert wird.

2. Der Hustenreflex, der eintritt, wenn Reize der vorerwähnten Art anhaltend oder besonders intensiv einwirken, sowie wenn irritierende Stoffe die Glottis schon passiert haben.

3. Der Kehlkopf-Kehldeckelverschluß, kombiniert mit Glottisschluß bei Beginn des Schluckaktes.

Die Erregbarkeit der zentripetalen Kehlkopfnerven und ihrer Zentren ist eine hohe und zugleich sehr ausdauernde. Die Kehlkopffreflexe überdauern den Cornealreflex in der Narkose (Semon und Horsley⁴⁾). Die hintere Wand des Kehlkopfes und der Luftröhre ist empfindlicher als die vordere (Stoerk⁵⁾, Semon und Horsley⁴⁾, Semon⁶⁾).

Die Reflexe unter 1 und 2 werden hauptsächlich vom Kehlkopf selbst

¹⁾ l. c. — ²⁾ Neurol. Zentralbl. 1895. — ³⁾ Ebenda 1899. — ⁴⁾ British med. Journ. 1886. — ⁵⁾ Wiener med. Wochenschr., Nr. 25, 1876. — ⁶⁾ Monatschr. f. Ohrenheilk., Nr. 6, 1879.

aus zur Auslösung gebracht, der Reflex unter 3 dagegen von Stellen höher oben, im Schlunde und Rachen. Die unter

4. zu nennenden Atmungsreflexe endlich werden von weiter entfernten Stellen ausgelöst, von denselben Stellen, wie die übrigen Atmungsbewegungen, mit denen die respiratorischen Kehlkopfbewegungen in Koordination stehen. Auf diese braucht hier nicht näher eingegangen zu werden. Erinnert sei daran, daß nach Erfahrungen von Semon nur der kleinere Teil der untersuchten Personen bei ruhiger Atmung respiratorische Stimmbandbewegung zeigt (s. o. S. 709).

5. Sogenannte „perverse“ Stimmbandbewegungen, inspiratorische Adduktion, expiratorische Abduktion fanden Grossmann¹⁾ beim Kaninchen, Kreidl²⁾ beim Kaninchen und Affen, wenn sie künstliche Atmung durch Lufteinblasung machten. Vagusdurchschneidung hob diesen Reflex auf.

6. du Bois-Reymond³⁾ und Katzenstein³⁾ bestätigten das Vorkommen dieses Reflexes, fanden es auch beim Hunde und entdeckten ferner einen Reflex von der Thoraxwand auf die Stimmbänder. Künstliche Atmung durch Thoraxkompression löst inspiratorisch Erweiterung, expiratorisch Verengerung der Glottis aus, unabhängig von der Integrität des Vagus und auch bei kollabierten Lungen. Durchschneidung des unteren Halsmarks aber hebt den Reflex auf. Maßgebend ist die Stellung, nicht die Bewegungsrichtung des Thorax.

Nur flüchtig erinnert sei daran, daß Reizzustände in ganz fernen Organen, wie besonders den Genitalien, zumal beim Weib, auf den Kehlkopf reflektiert werden in Gestalt von sog. Reflexempfindungen. Wahrscheinlich funktionieren hierbei vasomotorische Nerven im Sympathicusgebiet als Vermittler der Reizfortpflanzung.

6. Die bilaterale Symmetrie der Kehlkopfinnervation.

Unter normalen Bedingungen erfolgen alle Stimmbandbewegungen durchaus symmetrisch, und es könnte scheinen, als ob dies durch eine organisch begründete Einheitlichkeit der Innervation von einem unpaarigen Zentrum aus bedingt und die bilaterale Symmetrie daher als eine unlösbare anzusehen wäre. Semon (Handbuch d. Laryngol. I, 621) hat sich in der Tat in diesem Sinne ausgesprochen, und die von Treupel⁴⁾ behauptete Möglichkeit einseitiger Stimmbandinnervation bestimmt abgelehnt, mit dem Hinweis darauf, daß auch die Rippen- und Zwerchfellatmung bilateral sei und nicht willkürlich auf eine Seite beschränkt werden könne. Letzteres ist nicht richtig; willkürlich die Atembewegungen auf einer Seite stärker, auf der anderen schwächer zu machen, gelingt manchen Menschen, besonders wenn ein einseitiger Schmerz bei der Atmung auftritt. Katzenstein⁵⁾ berichtet von sich, daß er vorwiegend einseitige Atmung ausführen könne. Derselbe Autor erwähnt einen Muskelkünstler, der auf seine Veranlassung einseitige Stimmbandbewegung erlernte.

Auch durch Rindenreizung können einseitige Bewegungen ausgelöst werden, wie Masini⁶⁾ zuerst im Gegensatz zu allen anderen Untersuchern

¹⁾ Sitzungsber. K. Akad. Wien 98, Abt. III, 1888. — ²⁾ Ebenda 1897. — ³⁾ Arch. f. Laryngol. 14, 1. Heft. — ⁴⁾ Die Bewegungsstörungen im Kehlkopf bei Hysterischen. Jena 1895 und: Berlin. klin. Wochenschr. 1895. — ⁵⁾ Verhandl. physiol. Gesellsch. Berlin, 20. März 1905. — ⁶⁾ Physiol. Observ. on human voice, Proc. Roy. Soc. London 7, 399, 1855 und Observations physiologiques sur la voix humaine 1855, 2. Aufl. 1861.

behauptet hatte (Adduktion auf der Gegenseite). Katzenstein (l. c.) hat dies neuerdings für die Krausesche Rindenstelle, wie auch für die von ihm selbst entdeckte zweite Zentralstelle in der zweiten Hirnwindung (beim Hunde) nachgewiesen. Die Wirkung der Rindenreizung war in einzelnen Fällen gleichseitig, in anderen gegenseitig. Auch Reflexe durch Berührung der Kehlkopfschleimhaut (Adduktionsbewegung auf der gereizten Seite) sind einseitig, wenn die Reizung nicht gerade in der Mittellinie erfolgt. Beim Menschen wirkt der Berührungsreflex nur dann einseitig, wenn die Empfindlichkeit durch Cocain etwas abgestumpft ist (Katzenstein).

Die bilaterale Symmetrie ist also zwar bei der normalen Funktionsweise des Kehlkopfes stets gewahrt, aber nicht unlösbar.

VI. Die Beobachtung des Kehlkopfes im Leben.

Infolge der geschützten Lage des Kehlkopfes ist es nicht ganz leicht, ihn, und vor allem die Stimmbänder *intra vitam* zu Gesicht zu bekommen. Im Tierversuch hat man häufig den Kehlkopf von oben her, durch Ablösung seiner Verbindungen zum Zungenbein, operativ sichtbar gemacht oder auch, was leichter und schonender den Anblick der Stimmbänder verschafft, von unten her, indem die Trachea entweder ganz durchschnitten wird oder von vorn ein Fenster in sie geschnitten wird.

Ohne operativen Eingriff den Kehlkopf am lebenden Menschen oder Tier zu beobachten, versuchten Senn (1827), Babington (1828), Trousseau und Belloc (1837), Liston (1840), Warden (1844) u. a. ohne oder mit nur vereinzelter Erfolg, während 1854 der Gesanglehrer Manuel Garcia¹⁾ 1854 in London erfolgreiche Beobachtungen mit einem das Sonnenlicht reflektierenden Spiegelchen an sich und anderen ausführte und zum Studium der Kehlkopfbewegungen benutzte. Unabhängig von Garcia führte 1857 Türck in Wien die Laryngoskopie zum ärztlichen Gebrauch ein. Czermak vervollkommnete gleich darauf die Methode und erweiterte ihre Anwendbarkeit.

Bei der gewöhnlichen Laryngoskopie wird durch einen Hohlspiegel Licht in den Rachen des zu Untersuchenden geworfen; in der Gegend des Zäpfchens werden die Strahlen durch einen kleinen an dünnem Stiel gehaltenen Planspiegel annähernd rechtwinklig nach unten abgelenkt. Die Brennweite des Hohlspiegels ist so gewählt, daß eine reelle verkleinerte Abbildung der Lichtquelle (die nicht zu klein sein darf) in der Ebene der Glottis entsteht. Eine zentrale Durchbohrung des Hohlspiegels gestattet dem Untersucher, in gleicher Richtung hineinzublicken, in der das Licht einfällt. Einige Bilder vom Kehlkopf bei der Phonation s. u. Tafel II.

Durch die Spiegelung erscheint das, was am Kehlkopf vorn ist (Schilknorpelende der Glottis), oben, was hinten ist (Stellknorpelende), unten. Rechts und links sind nicht vertauscht. Was der Untersucher im Bilde rechts sieht, liegt auch im Körper des Untersuchten rechts vom Untersucher aus; vom Untersuchten aus natürlich links. Denkt man sich aber den im Spiegelbild gesehenen Kehlkopf zu einem ganzen Menschen ergänzt, so würde das rechte Stimmband des Spiegelbildes das linke des ganzen Menschen sein (Hirschberg²⁾).

Da man unwillkürlich umgekehrte Lage des Bildes erwartet (den hinteren Teil des Kehlkopfes oben liegend) und infolgedessen der Anfänger leicht desorientiert werden kann, konstruierte Katzenstein³⁾ eine kleine Vorrichtung zur doppelten Spiegelung, die das Bild in der erwarteten Lage zeigt („Orthoskopie“ des Kehlkopfes).

¹⁾ *Physiol. Observ. on human voice, Proc. Roy. Soc. London* 7, 399, 1855 und *Observ. physiol. sur la voix humaine* 1855, 2. Aufl. 1861. — ²⁾ *Berlin. klin. Woch.* 1877, S. 73; *Virchows Arch.* 69, 146. — ³⁾ *Berlin. klin. Wochenschr.* 1896, Nr. 16; *Arch. f. Laryngol.* 4, 179.

Unter „Autoskopie“ des Kehlkopfes versteht man ein von Kirstein¹⁾ empfohlenes und mehrfach verbessertes Verfahren, den Kehlkopf ohne Spiegel direkt zu betrachten, wozu die Zunge rinnenförmig eingedrückt und die Epiglottis aufgerichtet werden muß. Man erhält dabei, da binokular beobachtet werden kann, ein körperliches Bild des Kehlkopfes.

Zur Messung im laryngoskopischen Bild sind verschiedene Methoden angegeben worden (vgl. die Fachschriften). Speziell zur Messung der Glottisweite bei Tieren hat sich Exners Laryngometer bewährt (beschrieben bei Grossmann, Arch. f. Laryngol. 6), ferner auch Museholds Apparat (Deutsche med. Wochenschr. 1893).

Bei sehr kräftiger Beleuchtung mit Bogenlicht läßt sich das reelle Bild des Kehlkopffinnern in beträchtlicher Vergrößerung projizieren. Kilian²⁾ hat eine dazu geeignete Vorrichtung konstruiert, mittels deren ausgezeichnete Bilder einem ansehnlichen Auditorium gezeigt werden können.

Zur Beobachtung der Schwingungsform der Stimmlippen nützlich und meines Erachtens noch nicht genügend ausgenutzt ist die stroboskopische Methode. Oertel³⁾, Spiess⁴⁾, Musehold⁵⁾ u. A. haben sie verwertet und Apparate dazu angegeben. Für Laboratoriumsversuche kann ich folgende sehr einfache Methode empfehlen. Die Strahlen einer Projektionsbogenlampe werden stark konvergent gemacht. Der Schnittpunkt der Strahlen fällt in die Rotationsebene einer runden Metallscheibe mit Schlitz und Löchern (die Schlitzbreite darf $\frac{1}{20}$ der Zwischenraumbreite nicht übersteigen), die am besten durch einen Elektromotor mit regulierbarem Widerstand gedreht wird. Jenseits der stroboskopischen Scheibe werden die wieder divergierenden Strahlen auf einem Stückchen Mattglas aufgefangen, das dann als Lichtquelle für gewöhnliche Laryngoskopie dient. Noch heller wird das Bild, wenn man statt des Mattglases eine Konvexlinse setzt, deren Abstand von der rotierenden Scheibe gleich ihrer Brennweite ist. Die rotierende Schlitzscheibe kann vom Untersucher mittels eines Gummischlauches sirenenartig angeblasen werden, und der Untersuchte hat die Aufgabe, den betreffenden Ton nachzusingen. Auch reelle Abbildung eines Nernststäbchens in der Ebene der rotierenden Scheibe gibt ein sehr gutes Licht zur Beobachtung.

Neuerdings hat man auch die Röntgenstrahlen mit Erfolg benutzt, um die Stellung des Kehlkopfes, Kehldeckels, der Zunge und des Gaumens zu erforschen⁶⁾.

VII. Die Taschenbänder (falschen Stimmbänder) und der Morgagnische Ventrikel.

Die Taschenbänder sind Schleimhautwülste, die reichlich Schleimdrüsen eingelagert enthalten. Eine eigene selbständige Motilität haben sie nicht, sie erhalten vielmehr nur Ausstrahlungen von Muskelzügen des Kehlkopfes (*M. thyreoarytaenoideus ext.*). Dementsprechend ist eine Funktion der Taschenbänder ähnlich der der Stimmbänder nicht anzunehmen. Stark aneinander angehängert werden sie nur zu Zeiten, wo die Stimmritze fest geschlossen ist, nämlich bei der allgemeinen Verengung des Introitus beim Schluckakt. Daß sie sich zur Tonbildung aneinanderlegen und durch ihre Schwingungen die Kopfstimme erzeugen (Segond⁷⁾, Kilian⁸⁾ u. a.) ist unbedingt ausgeschlossen, weil man auch bei Falsettönen mit dem Spiegel die wahren Stimmbänder sieht. Auch daß die Taschenbänder beim Falsett auf die Stimmbänder bis

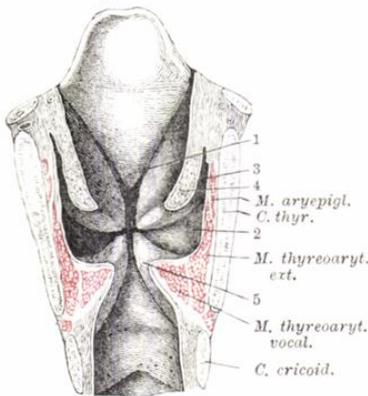
¹⁾ Die Autoskopie, Berlin 1896; und Therapeut. Monatshefte 1896, Juli. —

²⁾ Münch. med. Wochenschr. 1893, Nr. 6. — ³⁾ Zentrabl. f. d. med. Wissensch. 1878. — ⁴⁾ Arch. f. Laryngol. 7, 148, 1898. — ⁵⁾ Ebenda 7, 1, 1898. — ⁶⁾ M. Scheier, ebenda 7 (1897) und Deutsche med. Wochenschr. 1897; ferner Barth u. Grunmach, Arch. f. Laryngol. 19, 3. — ⁷⁾ Arch. gén. d. méd. 1848 u. 1849. — ⁸⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 9 (1874).

zur Berührung herabgezogen werden, wie einige¹⁾ wollen, ist nicht wahrscheinlich. Man dachte sich die Wirkung so, daß hierdurch der schwingungsfähige Teil verkleinert wird, oder daß durch Berührung der Stimmbänder in einer ihrem Rande parallelen Linie künstliche Knotenlinien erzeugt werden, wie der berührende Finger die Saite in Flageolettönen schwingen läßt. Letzteres ist bestimmt nicht möglich, weil man, wie Oertel (s. u. S. 740) zeigte, auch die sogenannten „Knotenlinien“ laryngoskopisch sieht, sie also nicht bedeckt sein können. (Vgl. übrigens über diese unrichtige Bezeichnung unten S. 741).

Hyrtl (Lehrbuch d. Anat., 17. Aufl. 1884, S. 747) glaubte, die Taschenbänder könnten den Schall durch Mitschwingen verstärken. Von mehreren

Fig. 120.



Frontalschnitt des Kehlkopfes, vordere Hälfte, von innen (nach Henle-Merkel).

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

Autoren²⁾ wird angegeben, daß bei Lähmungen eines Stimmbandes das funktionsfähige sich zur Stimmbildung an das gegenüberliegende Taschenband anlegen kann. Daß auf diese Weise Schall erzeugt werden kann, ist nicht zu bezweifeln, ja selbst ein Mitschwingen des Taschenbandes im gleichen Rhythmus ist nicht ausgeschlossen. Wissen wir doch, daß bei Aneinanderlagerung einer intakten und einer gelähmten wahren Stimmlippe die letztere im Tempo der ersteren mitschwingen kann, trotz der so ungleichen Elastizitätsverhältnisse.

Physiologisch am wichtigsten ist der Reichtum an Schleimdrüsen, die sich größtenteils in den Ventrikel öffnen und zur Feuchthaltung der Stimmbänder und des Kehlkopffinnern überhaupt dienen. Die durchströmende Luft und die

vibrierende Bewegung begünstigen eine rasche Verdunstung und Austrocknung.

Die akustische Bedeutung der Ventrikel kann nicht groß sein. Vor allem ist es nicht wahrscheinlich, daß sie irgend einen Eigentön in den Stimklang hineinbringen, ja nicht einmal, daß sie bestimmte Partialtöne verstärken. Der kleine, unregelmäßig von weichen Wänden begrenzte Raum ist dafür nicht geeignet. Weit eher ist das der Fall bei den zu großen Säcken erweiterten Ventrikelanhängen der Anthropoiden (z. B. *Simia troglodytes*) und einiger anderer Affen (Brüllaffe). Die Taschenbänder fehlen bei einigen Wirbeltieren (Wiederkäuer).

Malgaigne³⁾ und verschiedene Neuere vergleichen den Ventrikelraum mit dem Trompetenmundstück, in dem die schwingenden Zungen freien

¹⁾ Mandl, *Traité pratique etc.*, p. 273; Stoerk, *Klinik d. Krankheiten d. Kehlkopfes*, S. 66, Stuttgart 1876 (zit. nach Grützner). Katzenstein (*Zeitschr. f. klin. Med.* 62) spricht von einem Auflegen der falschen auf die wahren Stimmbänder beim „Falsett“ des Hundes. Schlüsse für die Stimmpysiologie des Menschen dürfen daraus nur mit Vorsicht gezogen werden. — ²⁾ Bruns, *Die Laryng. usw.*, Tübingen 1865; Rossbach, *Physiol. u. Path. d. menschl. Stimme*, Würzburg 1869; Stoerk, *Klinik d. Krankheiten d. Kehlkopfes* 1, 56, Stuttgart 1876. — ³⁾ Arch. gén. méd. 25 (1831).

Bewegungsraum finden sollen. Da weder die Lippen des Trompeters noch die Stimmbänder schwingende Zungen im eigentlichen Sinne darstellen und nicht beträchtlich vor- und zurückschwingen, scheint mir dieser Vergleich bedeutungslos. Außerdem könnten, wenn die Taschenbänder fehlten, die Stimmbänder ja noch freier in der Längsrichtung ausschlagen, falls sie es überhaupt täten.

Ich sehe, wie gesagt, die Hauptbedeutung der Taschenbänder und Ventrikel beim Menschen in der Schaffung einer geschützten, Schleim bereitenden, Höhlung.

VIII. Der Kehldeckel (Epiglottis).

Der Kehldeckel hat die doppelte Funktion, beim Schluckakt den Kehlkopfeingang deckelartig zu schließen, und zusammen mit der *Plica pharyngoepiglottica* und *Plica aryepiglottica* die kleinen Flüssigkeitsmengen, die sich im Munde fortwährend bilden und gegen den Zungengrund hin senken, an dem Einfließen in den Kehlkopfraum zu hindern. Letztere Wirkungsweise ist leicht verständlich, komplizierter die erstere. Es kann nicht mehr wie früher davon die Rede sein, daß die Epiglottis passiv heruntergedrückt durch den Bissen oder heruntergezogen von den Kehlkopf-Kehldeckelmuskeln sich über den am Platze bleibenden Kehlkopf legte, wie eine Brücke. Die schwachen Muskelbündel, die vom Schildknorpel und den Stellknorpeln zum Kehldeckel hinaufziehen, würden entfernt nicht ausreichen, um einen sicheren Verschuß des Larynxeinganges herbeizuführen; sie dienen vielmehr in der Hauptsache dazu, Bindegewebszügen, mit denen sie verlaufen, die nötige Widerstandsfähigkeit gegen dauernden Zug zu sichern. Innerviert werden der *M. thyreo-* und *aryepiglotticus* nicht in ganz konstanter Weise, sondern in einzelnen Fällen vom *Laryngeus sup.*, in den anderen vom *Recurrentis* (Roemisch¹⁾).

Einigermaßen sphinkterähnliche Wirkung auf den freien Rand des *Aditus laryngis* haben diese Muskelzüge ja wohl, und insofern beteiligen sie sich an dem Abschluß des Kehlkopfes. In der Hauptsache kommt aber letzterer dadurch zustande, daß der Kehlkopf gehoben und vorn übergeneigt wird unter Hebung und Vorwärtsbewegung des Zungenbeines, Wirkungen des *M. geniohyoideus*, *mylohyoideus*, *digastricus* und *hyoglossus*. Der Kehlkopf seinerseits wird an das Zungenbein durch den *M. hyothyreoideus* herangezogen. Der durch den *M. hyoglossus* nach hinten gedrückte Zungenrücken preßt den Kehldeckel auf die durch Muskelzug selbst verengte Kehlkopfoffnung.

Nach Czermaks²⁾ Angaben wird übrigens beim Schluckakt auch die Glottis geschlossen und die falschen Stimmbänder werden stark herab- und zusammengezogen. Künstliches Offenhalten der Glottis hindert aber nicht den Schlingakt, so daß also jedenfalls über der Glottisverschlußstelle noch der Aditus verschließbar sein muß (Longet³⁾).

Entfernung oder Zerstörung der Epiglottis stört das Schlingen fester Speisen fast gar nicht (Magendie, Longet, Schiff), mehr das von Flüssigkeiten.

Nach Meltzer⁴⁾ neigen sich die stark genäherten Stellknorpel beim Schlucken so weit vornüber, daß sie fast den Schildknorpel berühren.

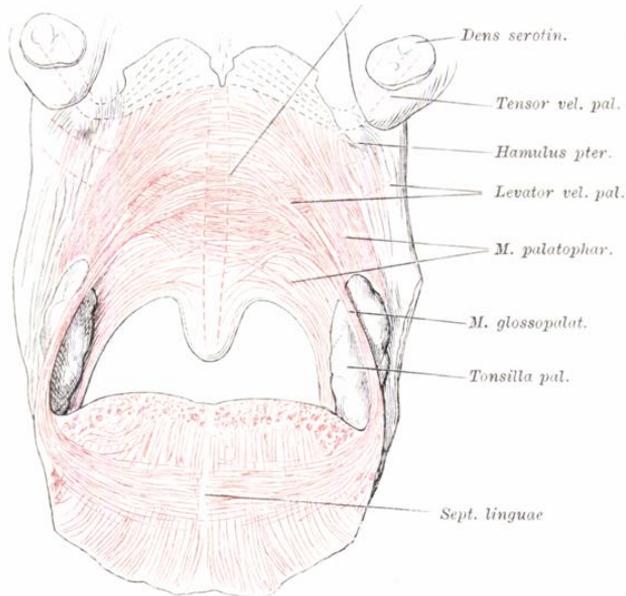
¹⁾ Arch. f. Laryngol. 2; vgl. auch Barth, Mechanismus der Kehldeckelbewegungen, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1905, Suppl. — ²⁾ Moleschotts Untersuch. 8, 489, 1862 und Ges. Schriften I (2), 545, 1879. — ³⁾ Arch. gén. de méd. Paris 1841; Traité de physiol., 3. éd I, 131f. — ⁴⁾ Zentrabl. f. Physiol. I, 437, 1897.

Eine Art Kuriosum, jedenfalls eine schwer verständliche Tatsache, stellt das Vorhandensein von Geschmacksempfindlichkeit an der Oberfläche des Kehldeckels und im Kehlkopffinnern dar. Verson¹⁾, Gottschau²⁾ und Michelson³⁾ fanden deutliche Schmeckfähigkeit an der laryngealen Seite des Kehldeckels, Davis⁴⁾ und neuerdings Kiesow⁵⁾ und Hahn⁶⁾ wiesen dann überzeugend auch Schmeckfähigkeit im eigentlichen Kehlkopf nach. Die zur Applikation des Schmeckstoffes dienende Sonde macht zur leichteren Kontrolle der Reizstelle an dem berührten Punkte durch Methylenblaufeuchtung einen blauen Fleck. Vgl. hierzu dieses Handbuch 3, 623.

IX. Gaumensegel und Pharynxwand.

Die Bewegungen und Einstellungen des Gaumensegels erfolgen durch die Wirkung eines Muskelsystems, dessen Hauptfaserzüge aus Fig. 121 ersichtlich sind. Einfach ist die Wirkung des *M. (azygos) uvulae*, der in der

Fig. 121. *M. uvulae*



Darstellung der Gaumenmuskeln (nach Henle-Merkel).

Der harte Gaumen ist stark gehoben; die Zunge ist unmittelbar vor dem *Arcus glossopalatinus* frontal durchschnitten. Die an der Rückfläche des Gaumens liegenden Muskeln sind mit punktierten Linien angegeben.

sagittalen Dimension das Gaumensegel zusammenrafft und speziell das Zäpfchen hebt. Der *Levator veli palatini* mit seinen symmetrischen beiden festen Punkten rechts und links muß bei Kontraktion die Hauptmasse des

¹⁾ Sitzungsber. K. Akad. Wien 57 (1868) und Strickers Handbuch der Lehre v. d. Geweben, 1871. — ²⁾ Würzburger Verhandl., N. F., 15. — ³⁾ Virchows Arch. 123 (1891). — ⁴⁾ Arch. f. mikr. Anat. 14 (1877). — ⁵⁾ Würzburger Verhandl. N. F. 15. — ⁶⁾ Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorgane 27, 80, 1901.

weichen Gaumens anheben. Er ist es, der den Abschluß zwischen Rachen- und Nasenhöhle ermöglicht. Der *Tensor* wird ihn dabei in den seitlichen Partien unterstützen. *M. glossopalatinus* und *palatopharyngeus* können in der Hauptsache als die Antagonisten jener bezeichnet werden, indem sie unter Abflachung ihres bogenförmigen Verlaufes das Gaumensegel im ganzen oder nur dessen freien Rand herabziehen. Die größtenteils aus dicht verwebten Muskelbündeln bestehende Platte ändert bei diesen Stellungsänderungen auch ihre Dicke in den einzelnen Teilen.

Über die vergleichende Anatomie und einiges vergleichend Physiologische s. Moser, Das Gaumensegel des Menschen, verglichen mit dem der Säugetiere. Diss. Tübingen 1868.

Bei ruhiger Atmung hängt das Gaumensegel schlaff herunter, und zwar legt es sich hierbei im allgemeinen an die Zunge so nahe an, daß die Passage durch die Mundhöhle fast verlegt ist. Bei mir z. B. geht, wenn ich bei offenem Munde ruhig atme, fast alle Luft durch die Nase; Strömung durch den Mund ist nicht immer und nur in Spuren nachweisbar. Es gehört eine fühlbare Umstellung des Gaumensegel-Zungenverschlusses dazu, um nachweisbar Luft durch den Mund strömen zu lassen. Die individuellen Verhältnisse der Rachenweite, bedingt durch Größe der Zunge und die Konfiguration des Mundhöhlendaches, sind sehr wechselnde.

Bei der Bildung einer Anzahl von Konsonanten, für deren Klang eine Enge im hinteren Teile der Mundhöhle bestimmend ist, legen sich Gaumensegel und Zungenrücken in mehr oder weniger großem Umfang aneinander. Beim Zäpfchen-*R* z. B. wird beiderseits fester Verschuß gebildet, in der Mitte der Zunge aber eine Rinne, die von dem im Luftstrom oszillierenden Zäpfchen abwechselnd ausgefüllt und wieder freigegeben wird. Der mittlere Teil (mittlere in der Richtung vom harten Gaumen zur Uvula gerechnet) des weichen Gaumens ist bei diesem Laut und überhaupt bei allen nichtnasalen Lauten gehoben, so daß zwischen Rachen und Nasenhöhle ein Abschluß eintritt.

Diese Hebung des Gaumensegels erfolgt auch bei allen nicht nasalierten Vokalen in ausgeprägter Weise. Die Figur des Gaumens auf einem Sagittalschnitt wird dabei so, wie es Fig. 128 I schematisch darstellt, Ober- und besonders Unterfläche werden deutlich winkelig geknickt. Der freie Rand legt sich dabei der Pharynxwand nicht fest an, weshalb man beim Blick in den geöffneten Mund bei Vokalartikulation den Eindruck gewinnt, es müsse hinter dem Gaumensegel noch eine freie Passage nach oben vorhanden sein. Das ist aber, wie gesagt, nur bei den nasalierten Vokalen der Fall, während bei den anderen ein Verschuß besteht, der einerseits durch Verdickung der oberen nach hinten oben gezogenen Gaumenpartien, andererseits durch den von Passavant¹⁾ entdeckten und nach ihm benannten muskulösen Wulst in der Pharynxwand gebildet wird. Gaumensegel und Pharynx berühren sich hier in ziemlich großer Ausdehnung.

Das Zustandekommen des Verschlusses hat man auf verschiedene Weise studiert. Czermak goß mit einem Katheter Wasser oder Milch in die Nase während des Phonierens; da die Flüssigkeiten nicht in den Mund flossen,

¹⁾ Über die Verschließung des Schlundes beim Sprechen, Frankfurt a. M. 1863, u. Arch. f. Pathol. 46.

war der Verschuß erwiesen. Czermak und nach ihm viele andere¹⁾ haben auch bei Patienten, denen ein Oberkiefer ganz oder teilweise reseziert und daher das Velum von oben sichtbar war, Beobachtungen angestellt. Voltolini²⁾ beobachtete mit *Rhinoskopia anterior* und *posterior*. Hartmann³⁾, Gutzmann⁴⁾ und Nagel⁵⁾ verbanden ein Nasenloch mit einem Manometer und trieben in das andere komprimierte Luft. Beim ruhigen Atmen entweicht die eingetriebene Luft aus der Nase in den Rachen, ebenso beim Ertönen nasaler Vokale. Sowie aber ein reiner Vokal gesprochen wird, steigt das Manometer plötzlich, bis der Druck in der Nasenhöhle groß genug wird, um den Gaumenschluß zu sprengen, wonach ein Teil der Luft mit glucksendem Geräusch entweicht und der Druck damit vorübergehend etwas sinkt. Der Verschuß ist bei den verschiedenen Lauten verschieden fest, am losesten bei *A*, am festesten bei *I*, nächst dem bei *U*. Hartmann fand bei sich Druckwerte von 80 bis 100 mm Hg, bei anderen Personen 30 bis 100 mm. Hartmann sowohl wie Gutzmann fanden bei *A* bisweilen keinen Verschuß, und letzterer Autor teilt mit, daß er ein reines *A* mit und ohne Rachen-Nasenschluß sprechen kann. Bei mir ist der Verschuß stets vorhanden, wenn ich reines *A* spreche, doch genügt schon ein Druck von 100 bis 150 mm Wasser zu seiner Sprengung; bei *I* ist der Schluß so fest, daß die Luft in die Paukenhöhlen dringt und die Messung der Verschußfestigkeit nicht möglich ist. Die Hebung des Gaumensegels bei den einzelnen Lauten ist eine verschiedene, im allgemeinen parallel gehend mit der Festigkeit des Rachenschlusses (s. Fig. 128 a. S. 763). Doch kommen auch Abweichungen vor. Die bloße Hebung des Gaumens läßt sich am intakten Organ bestimmen, wenn man eine leichte Sonde durch den unteren Nasengang bis zur Pharynxwand einschiebt. Weiteres hierüber siehe bei Gutzmann (l. c.), Einthoven⁶⁾, Eykman⁷⁾.

Die gesamten Bewegungsvorgänge im Gaumengebiet bei Bildung des Verschlusses beschreibt Passavant (l. c.) wie folgt: Die vordere und obere Hälfte des Gaumensegels wird gehoben und bildet gleichsam eine in gleicher Richtung fortlaufende Verlängerung des harten Gaumengewölbes. Die untere und hintere kleinere Hälfte des Gaumensegels tritt nach hinten, eine senkrechte Stellung einnehmend, zuweilen verkürzt sie sich etwas in der Richtung von oben nach unten. Das Gaumensegel wird schmaler, seine seitlichen Teile nähern sich etwas der Mittellinie.

Durch das Hinaufgezogenwerden des Gaumensegels und die gleichzeitige Annäherung der Seitenwandungen des Schlundes verändern die Gaumenbögen ihre Stellung zueinander. Sie verhalten sich zu der Stellung in der Ruhe wie ein Spitzbogen zu einem Rundbogen, das Zäpfchen in beiden Fällen als vorstehender Schlußstein des Bogens betrachtet.

¹⁾ Sitzungsber. K. Akad. Wien 1857 u. Moleschotts Untersuchungen 5, 1. —

²⁾ Vgl. über die Literatur und Geschichte der Lehre von den Gaumenbewegungen H. Gutzmanns zusammenfassende Arbeit in der Monatsschr. f. d. ges. Sprachheilk. 1893, Heft 8 und „Gaumensegel (physiologisch)“ in Eulenburgs Realenzyklopädie; enzyklopädische Jahrbücher 8. — ³⁾ Rhinoskopie u. Pharyngoskopie, 2. Aufl. 1879, S. 191 ff. — ⁴⁾ Experim. Studie über die Funkt. d. Eustach. Röhre 1879, S. 29 ff., u. Zentralbl. f. d. med. Wissensch. 1880. — ⁵⁾ Zeitschrift. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 38, 196, 1905. — ⁶⁾ Physiologie des Rachens, in P. Heymanns Handbuch d. Laryng. u. Rhinol., Wien (Hölder) 1898. — ⁷⁾ Onderzoek. Physiol. Labor. Utrecht, vijfde Reeks 4, 2.

Die Mandeln und mit ihnen die unteren Enden der Gaumenbogen werden bei dem *A-Sprechen* etwas in die Höhe und nach rückwärts gezogen. Beim Schlucken nähern sie sich auch beide der Mittellinie.

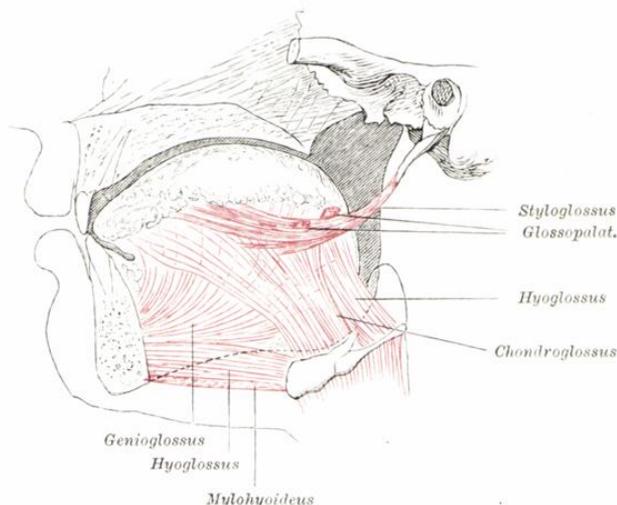
Das Zäpfchen wird kleiner, runzelt sich, und seine Spitze wird etwas nach vorn, zuweilen auch nach hinten gerichtet.

Besonders hoch und spitzig wird der vom Gaumen gebildete Bogen nach Gutzmann beim Leerschlucken, bei sehr hohen Tönen und beim „Bauchreden“.

X. Die Zunge.

Die Zunge ist ein muskulöses Gebilde ganz eigener Art, insofern eine große Anzahl Muskeln mit festem oder relativ festem Ursprung sich hier vielfach durchflechten und in dem weichen Organ teils an der Schleimbaut, teils an dem bindegewebigen Septum endigen und die Gestalt desselben vielfältig ändern können, unterstützt nach vorn von den Fasern des mächtigen *M. transversus linguae*, der keinerlei festen Ansatzpunkt hat. Die Anordnung

Fig. 122.



Verlauf der extraglossalen Zungenmuskulatur, halbschematisch (nach Henle-Merkel).

Der Unterkieferast der rechten Seite ist dunkel schraffiert; der untere Rand des Kieferkörpers ist durch eine punktierte Linie angegeben.

der wichtigsten Muskeln mit Ausnahme des *Transversus* ist aus Fig. 122 zu ersehen, die Ausstrahlung des *Genioglossus* geht bis zum Zungenrücken hinauf, wo sie nur noch von einer dünnen Längsmuskulatur überlagert ist.

In der Ruhe nimmt die Zunge eine Lage ein, die etwa der Fig. 122 entspricht, d. h. sie füllt den Mund größtenteils aus, läßt aber den Rachen zur Atmung frei. Hierzu ist, abgesehen von einer inneren Absteifung des Zungenkörpers, an der alle Muskeln beteiligt sein dürften, ein Zug nach vorn nötig, der das (in der Narkose gefürchtete) Hintenüberfallen der Zunge verhindert — hauptsächlich die Wirkung des *Genioglossus*.

Gewissermaßen antagonistisch hierzu ist die nach hinten ziehende Muskelgruppe *Hyoglossus* und *Chondroglossus* samt *Styloglossus*. Namentlich die ersteren sind es, die beim Schluckakt die Zunge nach hinten unten ziehen.

Für die Stimmbildung am wichtigsten ist die Gestaltveränderung, die die relative Größe und Gestalt der einzelnen Hohlräume im Munde bedingt. Hierüber ist indessen wenig Bestimmtes auszusagen. Wenn bei Erzeugung bestimmter Laute die Zunge vorn niedergedrückt und hinten hoch emporgeschoben wird, so kommen hierbei hauptsächlich die kombinierten Wirkungen einzelner Portionen des *Genioglossus* und *Hyoglossus* in Betracht, jedenfalls mit Beteiligung des *Transversus*, der die Veränderung der Breitendimension beherrscht. Die einzelnen Portionen der Zungenmuskeln, besonders des *Genioglossus* und *Transversus*, können sich durchaus unabhängig voneinander kontrahieren. Diese Muskeln stellen ebensowenig physiologische Einheiten dar wie etwa der *M. vocalis* im Kehlkopf.

Unserem mechanischen Verständnis im einzelnen noch weit entrückt sind die (übrigens bei verschiedenen Individuen in sehr verschiedenem Grade möglichen) komplizierten Gestaltveränderungen der Zungenspitze, die für die Erzeugung bestimmter Konsonanten (*D, T, L, R, S, Sch*) wichtig sind. Antagonistische Innervationen spielen dabei eine große Rolle. Man kann u. a. deutlich sehen, wie während des Vorstreckens der Zungenspitze an einzelnen Stellen der Schleimhaut ein Zug nach innen und dadurch Einbuchtung erfolgt.

Das Bewegungs- und Lagegefühl der Zunge ist außerordentlich stumpf (Goldscheider¹⁾ und schützt nicht vor groben Täuschungen über die wirkliche Stellung. Die Tastempfindung ist dagegen namentlich an der Spitze sehr fein entwickelt.

Neuerdings hat man angefangen, die Bewegungen der Zunge ebenso wie die des Gaumens mittels Röntgenstrahlendurchleuchtung zu studieren (Scheier²). Um die Konturen der Zunge in der Seitenansicht besser sichtbar zu machen, haben Barth³⁾ und Grunmach³⁾ die Zunge zuerst mit Bleistreifen belegt, später eine feine mit einem Kügelchen beschwerte Kette sagittal über den Zungenrücken bis zum Kehldeckel hinab gelegt. Auf einige von den Ergebnissen wird weiter unten einzugehen sein.

XI. Die Erzeugung der Stimmlaute.

1. Lösung und Sprengung der Verschlüsse im Stimmkanal⁴⁾.

Wir haben zu unterscheiden zwischen den Wirkungen des anblasenden Luftstromes auf die Stimmwerkzeuge bei geöffneten (dabei eventuell mehr oder weniger verengten) und bei vibrierenden Verschlussstellen. Im ersteren

¹⁾ Zeitschr. f. klin. Med. 15 (1888) und Ges. Abhandl. (Leipzig, Barth, 1898) 2, 47. — ²⁾ Arch. f. Laryngol. 7 (1898). — ³⁾ Sitzungsber. d. Berliner laryngol. Gesellsch., 14. Dez. 1906. Ausführlicheres im Arch. f. Laryngol. 1907. — ⁴⁾ Eine gute Übersicht der von verschiedenen Forschern älterer und neuerer Zeit geäußerten Anschauungen über die hier berührten Fragen findet sich bei H. Gutzmann, Über Media und Tenuis (Med.-pädagog. Monatsschr. f. d. ges. Sprachheilk. 11 [1901]). Wegen der Literatur sei auf diese Arbeit und die Lehrbücher der Phonetik verwiesen.

Falle greift unter Umständen die Funktion als Lippenpfeife Platz, oder es entsteht die Flüsterstimme. Von beiden Fällen wird weiter unten zu reden sein.

Von Bedeutung sind die Fragen, auf die wir stoßen, wenn wir die Beziehungen zwischen dem Expirationsdruck und der Öffnung der verschiedenen Verschlußstellen zu ermitteln suchen. Möglich ist die Eröffnung des Kanals auf dreierlei Weise: aktiv oder passiv, durch Lösung oder Sprengung und endlich drittens durch Lösung und Sprengung zugleich (Sievers).

Vielfach wird von einer Sprengung, z. B. des Lippenverschlusses, gesprochen, wo streng genommen gar nicht die rein passive Durchbrechung gemeint ist. Man kann die passive Sprengung des Lippenverschlusses zwar willkürlich bewirken, aber es kommen dann andere Laute zutage, als sie in der Sprache in Form der Explosivlaute verwendet werden. Jede solche passive Sprengung, gegen die durch Muskelspannung Widerstand geleistet wird, führt statt zur einmaligen Verschlußdurchbrechung zu einer intermittierenden Eröffnung, zu schnell abwechselndem Öffnen und Schließen der Lippen. Es sind alle Bedingungen für das Funktionieren der Lippen als Gegenschlagpfeifen (s. u. S. 735) gegeben. Sind die Lippenmuskeln schlaff, so entsteht bei der Verschlußsprengung ein leiser Knall mit anschließendem Blasegeräusch, also wiederum ein Schall, der sich von den in der Sprache verwendeten Explosivlauten sehr wesentlich unterscheidet.

Alle Verschlußstellen im Stimmkanal werden von Weichteilen entweder ganz und gar gebildet, oder doch mindestens zum Teil von solchen begrenzt. Die Folge davon ist, daß bei Herstellung eines der möglichen Verschlüsse und Drucksteigerung im Brustkasten die den Verschluß bildenden Weichteile zunächst etwas nachgeben, ohne daß der Verschluß aufhört. Naturgemäß ist dies am ausgiebigsten der Fall, wo zwei dehnbare membranöse Platten den Verschluß begrenzen, wie die Lippen, an denen die Vorbuchtung bei intrabuccaler Drucksteigerung direkt zu sehen und zu fühlen ist. Die geringe Ausdehnung und wesentlich abweichende Gestalt der Verschlußstücke macht es begreiflich, daß an den Stimmlippen im Kehlkopf eine solche Vorbuchtung nur in geringerem Maße möglich ist. Dagegen wird hier am Kehlkopf eine Hebung des ziemlich lose aufgehängten Organs beobachtet, wenn man bei geschlossener Glottis zu expirieren sucht. Wenn auch nicht nachweisbar und nicht einmal sehr wahrscheinlich ist, daß diese Kehlkopfhebung ausschließlich auf einer passiven Streckung der Luftröhre durch den Binnendruck beruht, so spielt dieses Moment doch sicher dabei mit. Harless fand bei einer 9,5 cm langen Leichentrachea durch starken Binnendruck eine Verlängerung um 3,3 cm.

Sind zwei Hohlräume durch eine schlaffe membranöse Wand voneinander getrennt, in der sich ein einfacher geradliniger Schlitz befindet, so wird sich dieser, sobald in einem der beiden Räume ein Überdruck herrscht, einfach öffnen und offen bleiben, solange der Luftstrom anhält. Haben die Ränder des Schlitzes zuvor fest aneinandergeschlossen, so muß beim Einsetzen der Druckdifferenz die membranöse Scheidewand gegen die Seite des geringeren Druckes vorgewölbt werden, bis durch diese Deformierung der Schlitz zum Klaffen kommt. Dieselben Verhältnisse liegen auch noch vor, wenn die Schlitzwände von einer mäßigen Kraft elastisch aneinandergedrückt werden, wie es z. B. der Fall ist, wenn die ganze membranöse Scheidewand elastisch

und in einer Ebene flach in der Schlitzrichtung gespannt ist. Durchtretende Luft öffnet den Schlitz und hält ihn offen, ohne daß es zu einem intermittierenden Verschluß und damit zur Klangerzeugung käme; dies geschieht nur unter besonderen, später zu besprechenden Bedingungen.

Ein Beispiel für den eben beschriebenen Vorgang haben wir, wenn wir die Lippen leicht schließen und nun durch den Mund zu expirieren suchen. Der Lippenspalt öffnet sich nach leichter Vortreibung der ganzen vorderen Mundwand, und die Luft tritt (mit leichtem Reibegeräusch) aus. Zur Erzeugung eines kräftigen Klanges kommt es nur, wenn durch Muskelanspannung kräftiger Lippenschluß intendiert und durch starken Expirationsdruck dieser Verschluß gesprengt wird.

Der Lippenverschluß weicht von dem oben erwähnten einfachen Schlitz in der membranösen Wand dadurch ab, daß die Schlitzränder nach einer der beiden Seiten vorgewulstet sind, wodurch die Berührungsfläche der Schlitzränder eine größere wird, als sie der bloßen Dicke der membranösen Wand entspricht. In mechanischer Hinsicht hat dies (abgesehen von der wohl geringen Bedeutung der größeren Adhäsion zwischen den feuchten Begrenzungsflächen) den Effekt, daß der Verschluß passiv in der einen Richtung leichter sich sprengen läßt als in der anderen. Versehen wir in einem Modell, bestehend aus einer geschlitzten Gummiplatte, die ein weites Rohr querteilt, die Schlitzränder auf der einen Seite mit lippenartigen Randwülsten, so ist es leicht zu zeigen, daß die passive Eröffnung dieses Lippenverschlusses leichter, d. h. bei geringerer Druckdifferenz, von der lippenlosen Seite her erfolgt. Im allgemeinen ist sie auch von der anderen Seite her möglich, aber nur unter weit beträchtlicherer Durchbiegung der ganzen Membran. Eine solche würde bei den menschlichen Lippen durch die dahinterliegende starre Wand der Zähne verhindert werden, wenn der Fall verkehrten Luftstromes hier überhaupt in Betracht käme.

Wichtiger ist die Berücksichtigung des eben erwähnten Punktes bei dem Verschluß zwischen Rachen und Nasenhöhle durch das Gaumensegel (s. o. S. 724 ff.). Hier liegt ein richtiger Ventilverschluß vor, der bei den unter normalen Umständen vorkommenden Druckverhältnissen hinreichend sicher den von der Ein- oder Ausatemungsluft augenblicklich nicht zu benutzenden Weg absperrt. Allerdings kommt es gelegentlich (namentlich bei katarrhalischem Zustand) vor, daß bei geschlossenem Munde durch einen heftigen Expirationsstoß das Gaumensegel gewaltsam nach oben gerissen und so die Passage zwischen Rachen und Nasenhöhle für kurze Zeit frei wird. Natürlich geht das nicht ohne heftige, meist etwas schmerzhaftige Zerrung des weichen Gaumens ab. Die Leichtigkeit, mit der dieses abnorme Durchschlagen des Ventils eintritt, variiert mit der individuell recht verschiedenen Konfiguration des Rachens und namentlich des Gaumensegels. Willkürlich wird die passive Sprengung des Rachenverschlusses normalerweise nicht ausgeführt (s. aber unten S. 771).

Die verschiedenen Verschlüsse im Innern der Mundhöhle, die zwischen der Zunge und dem harten Gaumen herstellbar sind, können passiv gesprengt werden, indem die Luft die Zunge an irgend einer Stelle von der Wand abdrängt und sich einen mehr oder weniger engen Weg bricht. Das ist mit dem Geräusch des der betreffenden Verschlußstelle entsprechenden

Explosivlautes (*K, T, P*) verbunden, der dabei stark aspiriert wird, so daß der zugehörige Reibelaut hörbar wird.

Die Zungen-Gaumenverschlüsse können übrigens so fest gemacht werden, daß eine rein passive Sprengung durch den Exspirationsdruck kaum möglich sein dürfte.

Beim Sprechen kommt die rein passive Sprengung hier so wenig wie beim Lippenverschluß vor, es wird vielmehr immer durch aktive Muskelleistungen der Sprengung vorgearbeitet, so daß diese mit geringer Kraft geschieht. Tatsächlich ist der Vorgang bei der Bildung von Explosivlauten in der Sprache stets der, daß der Verschluß (der vorübergehend ein sehr fester sein konnte) aktiv beträchtlich gelockert wird, während gleichzeitig im Windrohr der Druck schon gesteigert wird. Erst wenn der Verschluß schon ein ganz loser ist, erfolgt seine letzte vollkommene Lösung zum Teil durch die Druckluft, die die Verschlußteile auseinanderdrängt, um mit einem mehr oder weniger hörbaren Knall und anschließendem Reibegeräusch zu entweichen.

Der charakteristische Unterschied zwischen den „harten“ und den „weichen“ Explosivlauten (*Tenuis* und *Media*) besteht darin, daß bei ersteren die Drucksteigerung und die Verschlußfestigkeit unmittelbar vor der Lösung höhere Werte erreichen. Ein zweites (nicht unbedingt notwendiges) Charakteristikum liegt in dem bei der *Media* vorausgehenden, bei der *Tenuis* fehlenden „Blählaute“ (*Purkinje*). Näheres vergleiche unten bei der systematischen Besprechung der einzelnen Sprachlaute (S. 758).

Am Kehlkopf ist passive Sprengung des Glottisverschlusses möglich und wird außer bei der eigentlichen Phonation beim Husten oder Räuspern ausgeführt. Es sind dazu immer erhebliche Druckwerte nötig. Wie beim Lippenverschluß ist der Erfolg einer solchen passiven Sprengung niemals eine einmalige Eröffnung, sondern es schließt sich stets ein Vibrieren der Stimmlippen und ein intermittierender Verschluß an den gewaltsamen Durchbruch an. Es tritt also stets ein Stimmklang auf.

Einmalige Verschlussprengung ohne anschließendes Ertönen der Stimme ist (wie beim Lippenverschluß) nur mit vorausgehendem geringem Druck und unter einem mehr oder weniger ausgiebigen Entgegenkommen von seiten des aktiven Öffnungsmechanismus möglich. Die Folge ist hier wie dort ein leiser Knall. An diesem Knall läßt sich eine bestimmte Tonhöhe und ein ausgesprochener Vokalcharakter erkennen. Man kann bei diesen leisen, mit geringem Druck ausgeführten, halb aktiven, halb passiven Verschlußlösungen aus dem resultierenden Klang deutlich heraushören, auf welchen Vokal die Mundhöhle eingestellt war. Sprachwissenschaftlich haben die abgestimmten Knalllaute keine Bedeutung, da sie nie ohne Kombination mit einem tönenden oder geflüsterten Vokal vorkommen.

2. Periodische Verschlussprengung.

Von den verschiedenen Verschlussstellen im menschlichen Stimmkanal ist die in der Stimmritze gelegene ganz besonders dazu geeignet, durch intermittierenden Verschluß Schall zu erzeugen. Auch die Lippen geben, wenn sie hinreichend stark gespannt und mit entsprechendem Druck angeblasen werden, starke kontinuierliche Klänge. Die übrigen Verschlussstellen sind dazu ungeeignet, da an ihnen keine spannbaren Weichteile

beteiligt sind. Verschlüsse von weit langsamerer Intermittenz, deren Anblasen zu keinem kontinuierlichen Klang, sondern zu einem sogenannten Zitterlaut führt, kommen bei der Bildung der *R*-Laute in Betracht.

Die Schwierigkeiten, die für das Verständnis der Stimmbandschwingungen bestehen, dürfte von den Autoren, die sich bisher über den Gegenstand geäußert haben, R. Ewald am richtigsten gewürdigt haben, wenn auch seine Darstellung noch manche Lücke offen läßt.

Man darf, wie Ewald bemerkt, von vornherein nicht bestimmt behaupten, daß beim Kehlkopf die Vibrationen der Stimmbänder ausschließlich passive durch den Luftstrom bedingte seien, wie es etwa bei einer membranösen Zungenpfeife der Fall ist. Es könnten vielmehr die in die Stimmbänder eingelagerten Muskeln bei der teils durch die Spannmuskeln, teils durch den durchbrechenden Luftstrom bewirkten passiven Spannung veranlaßt werden, selbst in rhythmische zitternde Bewegung zu geraten. Ewald führt als Beispiel eines vergleichbaren Vorganges das von ihm so genannte und untersuchte „Kopfschwingen“¹⁾ an. Diesem vollkommen analogen Erzittern kann man an den Armen beobachten, wenn man die Fäuste ballt und die Unterarmmuskulatur krampfhaft spannt, desgleichen wenn man die gesamte Armmuskulatur zur Überwindung eines sehr schweren Widerstandes stark spannt. Im allgemeinen tritt das Zittern nur auf, wenn die Antagonisten gleichzeitig sehr stark gespannt sind, ohne daß der von ihnen bewegte Körperteil durch diese Kontraktion wesentlich aus seiner Mittellage entfernt wird. Das Gefühl starker Anstrengung fehlt dabei nie.

Wären ähnliche aktive Erzitterungen durch alternierendes Überwiegen des einen und des anderen Muskels in einem Antagonistenpaar auch die Ursache der Stimmbandschwingungen, so müßten außer dem in der Stimmklappe gelegenen Muskel noch dessen Antagonisten mitschwingen. Dies, sowie das Ausbleiben eines Anstrengungsgefühles beim leisen Ertönen des Kehlkopfes macht es unwahrscheinlich, daß der von Ewald erwähnte Schwingungsvorgang im Kehlkopf unter normalen Verhältnissen wirklich zustande kommt. In der Sparsamkeit des Luftverbrauchs, die Ewald im Vergleich mit dem Leichenkehlkopf für jene Möglichkeit ins Feld führt, kann ich keine Stütze jener Annahme sehen. Daß der Organismus sparsamer und zweckmäßiger arbeitet als die mit ihm vergleichbaren nach gleichem Prinzip wirkenden Maschinen, trifft ja in vielen Fällen zu.

Ein zwingender Grund, die Entstehung der Stimmbandschwingungen auch nur zum Teil prinzipiell anders zu erklären als die eines toten oder künstlichen Kehlkopfes, scheint mir demnach nicht vorzuliegen.

Sehr mit Recht betont indessen Ewald die bisher übersehene Schwierigkeit für die Erklärung der Schwingungen in den Zungenpfeifen, namentlich für das verschiedene Verhalten ein- und ausschlagender Zungen. Einschlagend nennt man bekanntlich nach Helmholtz solche Zungen, die den Luftspalt öffnen, wenn sie sich gegen das Windrohr hin bewegen, also in den Druckraum hineinschwingen, während sie bei der umgekehrten Schwingung, nach dem Ansatzrohr hin, die Stellung erreichen, in der sie den Luftdurchtritt verhindern. Bei ausschlagenden Zungen liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Aufschlagend heißt eine Zunge, die sich beim Verschluß der Öffnung mit ihren Rändern auf den Rahmen auflegt, durchschlagend eine solche, die schmaler und kürzer als die Öffnung im Rahmen ist, diese also niemals wirklich luftdicht verschließen kann.

Bemerkenswerterweise sprechen nun die durchschlagenden Zungen nur dann beim Anblasen an, wenn sie einschlagend gestellt sind²⁾. Das Nicht-

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 44 (1889). — ²⁾ Eine von Musehold beobachtete, nicht veröffentlichte Ausnahme tritt ein, wenn über eine ausschlagende Zungenpfeife

ansprechen der ausschlagenden Zunge ist nicht ohne weiteres verständlich. Man könnte folgenden Vorgang erwarten: Die Drucksteigerung im Anblaseraum (Windkasten) treibt die Zunge nach außen, bis der Spalt im Zungenrahmen so weit geöffnet ist, daß eine Portion Luft entweichen kann. Damit sinkt der Druck, die Ursache zur Durchbiegung fällt weg, die Zunge schnappt zurück, schließt dabei die Öffnung wieder, und wenn der Luftstrom anhält, wiederholt sich das Spiel. Auf diese Weise kommt das Klappern des Deckels auf dem Teekessel zustande und auch das Schwingen des Zäpfchens beim gutturalen *R*.

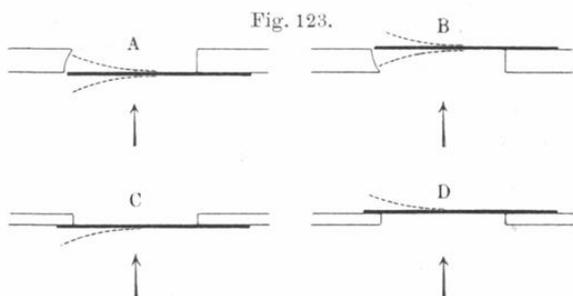
Bei den ausschlagenden Zungen tritt aber tatsächlich etwas ganz anderes ein: Die Zunge biegt sich nach außen durch und bleibt dauernd in dieser Lage, solange die Druckdifferenz in den beiden Räumen vor und hinter dem Zungenrahmen dieselbe bleibt.

Dies verschiedene Verhalten der ein- und ausschlagenden Zungen erklärt Ewald nach dem Prinzip des „pneumatischen Widders“, eines Analogons des bekannten hydraulischen

Widders (Montgolfier): Bei der plötzlichen Unterbrechung eines Luftstromes entsteht vor der Unterbrechungsstelle eine schnell auftretende und wieder verschwindende Drucksteigerung, hinter der Verschußstelle eine entsprechende negative Druckschwankung. Beide Schwankungen breiten sich im Windrohr und Ansatzrohr wellenförmig aus. Ist die den Verschuß herstellende Platte wie im Falle der Zungenpfeife selbst elastisch durchbiegbar oder sonstwie lokomobil, so wird der positive wie der negative Druckstoß sie im Moment des vollständigen Verschlusses durchbiegen oder dislocieren. Bei der einschlagenden Zunge (Fig. 123 A) tritt der Verschußmoment auf dem Schwung in der Richtung des Luftstromes ein; die erwähnten Druckstöße setzen in diesem Augenblick ein und treiben die Zunge noch etwas in der gleichen Richtung vor. Währenddessen hat die Druckwelle Zeit, sich von der Verschußstelle aus fortzupflanzen, und an der Verschußstelle selbst tritt die entgegengesetzte Phase, negative Schwankung vor, positive hinter der Zunge, auf und begünstigt so den Rückschwung. Es treten also bei dieser Art Zungen im Moment des Verschlusses und beim beginnenden Rückschwung begünstigende Faktoren auf, die geeignet sind, den Schwingungsvorgang dauernd zu unterhalten.

Nur in einem Falle kann die sonst richtig konstruierte einschlagende Zunge ganz oder teilweise versagen, dann nämlich, wenn die Reflexionsverhältnisse im

ein auf sie abgestimmtes Ansatzrohr gesetzt ist. Dann schwingt auch die durchschlagende Zunge, offenbar von der nach dem Lippenpfeifenprinzip zunächst angeblasenen Luftsäule angeregt. Ohne Ansatzrohr ist aber die ausschlagend durchschlagende Pfeife nicht zum Tönen zu bringen.



Schema der vier Formen von Zungenpfeifen, nach Ewald.
A durchschlagend einschlagend. B durchschlagend ausschlagend.
C aufschlagend, einschlagend. D aufschlagend, ausschlagend.

Windrohr oder Ansatzrohr so beschaffen sind, daß zwischen den an der Verschlussstelle entstehenden Druckstößen und den reflektierten Druckwellen Interferenz auftritt.

Bei der ausschlagenden Zunge liegt die Sache anders; wenn sie zurückschwingen würde, müßten in dem Augenblick, wo sie den Rahmen verschlösse, Druckverhältnisse entstehen, die ihren Schwingungsvorgang hemmen. Andauernd schwingen könnte sie also nur in dem Falle, daß die ganze Anordnung, die Gestalt und Elastizität der Zunge ihr den äußersten Rückschwung überhaupt bis zu dem Punkte gestattet, wo sie die Rahmenspalte eben schließt. Dies ist der Fall, wenn die Zunge nicht durchschlagend, sondern aufschlagend konstruiert ist. Läßt man eine derartige Metallzunge, nachdem man sie mit dem Finger vom Rahmen etwas abgehoben hat, auf ihn zurückschnellen, so prallt sie elastisch ein wenig zurück. Tritt gleichzeitig ein Luftstrom aus dem Spalt heraus, so muß dessen plötzliche Unterbrechung durch die aufschlagende Platte deren elastischen Rückschwung begünstigen, die Pfeife kann tönen.

3. Membranpfeifen.

Auf die Wirkungsweise metallener und anderer nichtmembranöser Zungen näher einzugehen, ist hier nicht am Platze, da die Stimmlippen im menschlichen Kehlkopf ihnen funktionell zu fern stehen, als daß man mehr als die allgemeinsten Gesetze von jenen auf diese übertragen könnte. Näher steht dem Kehlkopf die aus membranösen Zungen gebildete Pfeife. Die Differenzen sind freilich auch hier noch so groß, daß die Bezeichnung „künstlicher Kehlkopf“ für das sogleich zu besprechende Instrument mit schwingenden Gummimembranen nur mit Vorbehalt aufzunehmen ist.

Gemeinsam ist fast allen mit Gummimembranen u. dgl. ausgerüsteten Zungenpfeifen, daß sie aufschlagend eingerichtet sind und infolgedessen auch ausschlagend ansprechen. Sie werden auch fast ausschließlich in dieser Anblaserichtung verwendet.

Während bei den Pfeifen mit nichtmembranösen Zungen meistens nur eine schwingende Zunge auf oder durch einen starren Rahmen schlägt (Ausnahmen: Oboe, Englischhorn, Fagott), ist bei den membranösen Zungen die Zweizahl die übliche, und nur in sehr primitiven Instrumenten, wie sie auf den Jahrmärkten ertönen, schwingt nur ein Stimmband.

Zu wissenschaftlichen Versuchen sind meist zweilippige membranöse Zungenpfeifen verwendet worden. Solche in durchschlagender Form herzustellen, scheint unmöglich zu sein; sie sprechen nicht an, bei keiner der beiden Anblaserichtungen. Sehr leicht sprechen dagegen in beiden Richtungen an die aufschlagenden Membranpfeifen mit dachförmig gegeneinander gestellten Membranen, wie sie Helmholtz vielfach verwendet hat (Fig. 124 b). In vervollkommneter Form mit Vorrichtungen zum Spannen der Membranen, wie sie Ludwig konstruierte, sind sie als „künstliche Kehlköpfe“ bezeichnet worden.

Wie ohne weiteres ersichtlich, weicht der Schwingungstypus einer solchen Pfeife, wie Fig. 124 b, von dem der meisten starren Zungenwerke wesentlich ab, indem die beiden Lippen gegeneinander schwingen und sich in mehr oder weniger großer Fläche berühren. Von starrlippigen Pfeifen schwingen nur die Oboe und das Fagott in dieser Richtung, freilich zugleich einschlagend, während

der künstliche Kehlkopf fast immer ausschlagend benutzt worden ist. Ich bezeichne im Anschluß an Grützner [Ergebnisse der Physiol. I (2), 484], der von gegenschlagenden Zungen spricht, derartige Pfeifen als Gegenschlagpfeifen.

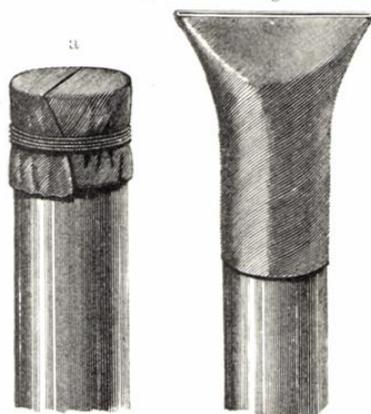
Die künstlichen Kehlköpfe sind nützlich gewesen, um die Abhängigkeit der Schwingungszahl von der Länge, Spannung, Dicke, dem Material der Membran, sowie vom Anblasedruck und dem Ansatzrohr festzustellen. J. Müller und Harless besonders haben diese Gesetze ermittelt. Für das Verständnis der Funktion des lebendigen Kehlkopfes sind die Versuche aber von beschränktem Wert. Es ist selbstverständlich, daß die Stimmlippen den auch für tote elastische Körper im allgemeinen gültigen Gesetzen im wesentlichen folgen müssen. Die Gesetze der Gummimembranen aber lassen sich auf die dicken prismatischen Stimmlippen nicht ohne weiteres übertragen, ja selbst die Stimmlippen des toten Kehlkopfes sind nicht mit Sicherheit als gute Vergleichsobjekte zu bezeichnen, da sie erstens höchstwahrscheinlich bei Dehnung eine andere Form annehmen als die lebendigen, und ihnen zweitens die Einlagerung des lebendigen Muskels mit seinen ganz eigenartigen Elastizitätsverhältnissen abgeht.

4. Der Kehlkopf als Gegenschlagpfeife.

Es kann als etwas überraschend bezeichnet werden, daß auch in den neueren Lehrbüchern, sowie in spezialistischen Schriften die Lehre von den Stimmbandschwingungen noch immer so dargestellt zu werden pflegt, als ob der Kehlkopf eine gewöhnliche zweilippige Zungenpfeife mit membranösen Bändern wäre, während man doch seit dem Jahre 1898 klare Beweise dafür in Händen hatte, daß der Kehlkopf wenigstens bei der Erzeugung der Bruststimme nicht als Zungenpfeife im üblichen Sinne des Wortes

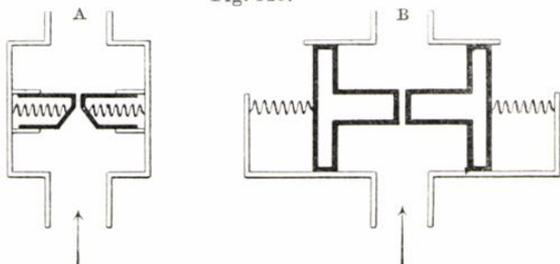
funktioniert. In Heymanns Handbuch der Laryngologie erwähnte Ewald die Möglichkeit, daß die Stimmlippen nicht in der Längsrichtung des Stimmkanals, sondern in der Querrichtung, also gegeneinander schwingen. Ewald bildete schematisch zwei Formen von Pfeifen ab, bei denen die periodische Unterbrechung

Fig. 124.



Zweilippige Membranpfeifen (nach J. Müller).

Fig. 125.



Zwei Polsterpfeifen (Gegenschlagpfeifen), nach Ewald.

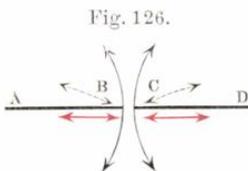
Der Pfeil gibt die Anblaserichtung an. Pfeife A kann nur in der vorgezeichneten Richtung angeblasen werden, B auch in der umgekehrten.

des Luftstromes statt durch vibrierende Zungen durch seitlich auseinanderweichende elastische Polster bewirkt wird. Die Fig. 125 A und B stellen die Ewaldschen „Polsterpfeifen“ dar, deren Konstruktionsprinzip ohne Beschreibung klar ist. Sie fallen unter den Begriff der von mir oben als Gegenschlagpfeifen bezeichneten Instrumente. Eine ausführliche Erörterung der Gründe, aus denen das Polsterpfeifenprinzip für den Kehlkopf besser paßt als der gewöhnliche Zungenpfeifenmechanismus, vermißt man bei Ewald; es findet sich nur der allerdings sehr wichtige Hinweis auf die Dicke der Stimmlippen und die Schwierigkeit, unter diesen Umständen die beobachteten Glottisweiten während der Phonation zu erklären.

Konsequenter durchgeführt sind diese Überlegungen in der im gleichen Jahre erschienenen inhaltreichen Arbeit von Musehold¹⁾, der sowohl die schwingenden wie durch stroboskopisches Verfahren zum scheinbaren Stillstand gebrachten Stimmbänder photographierte und Ergebnisse erhielt, die mit der Annahme von Durchschlagschwingungen der Stimmlippen im Brustregister unvereinbar sind. Auf Grund eigener unabhängiger Beobachtungen kann ich Museholds Anschauung nur beipflichten.

Membranöse Zungenpfeifen mit zwei Lippen, die in einer Ebene gespannt sind, können nur durchschlagend sein. Sollen zweilippige Membranpfeifen aufschlagend sein, so müssen die beiden Lippen miteinander einen Winkel bilden, der 120° nicht übersteigen darf, wenn noch einigermaßen synchronische Schwingungen eintreten sollen. Daß die Stimmlippen nicht unter einem solchen Winkel, sondern annähernd unter 180° aufeinander stoßen, lehrt die stroboskopische Betrachtung ohne weiteres. Daß es sich aber auch (bei der Bruststimme) nicht um durchschlagende Zungen handeln kann, geht aus dem sparsamen Luftverbrauch mit hoher Wahrscheinlichkeit, aus der stroboskopischen Betrachtung, die vollständigen Glottisschluß wenigstens im größten Teile der Stimmbandlänge zeigt, mit Bestimmtheit hervor.

Betrachtet man einen normalen Kehlkopf während der Phonation im Laryngoskop, so erscheint die Stimmritze nicht geschlossen, sondern $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ mm weit, mit unscharfer Begrenzung. Dieses Bild könnte, wie man ohne weiteres sieht, sowohl durch vertikale wie horizontale Schwingungen erzeugt werden. Bei stroboskopischer Betrachtung aber muß sich der Unterschied zeigen: Läßt



man die Frequenz der Lichtblitze, die die Stimmlippen treffen, fast genau ebenso groß werden wie die Frequenz der Schallschwingungen, die der Kehlkopf gerade erzeugt, so sieht man die Stimmlippen abwechselnd in vollem Glottisschluß, namentlich in der Mitte wulstig abgerundet (Musehold) und dann auseinanderweichend bis zu einer Distanz von 1 bis $1\frac{1}{2}$ mm. Das ist nur möglich, wenn die Schwingungen transversal zur Luftröhrenachse, im Sinne des Gegenschlagmechanismus erfolgen. In Fig. 126 seien *AB* und *CD* die oberen Begrenzungen der beiden Stimmlippen. Nach dem Zungenpfeifenmechanismus müßten die freien Ränder *B* und *C* (wenn die Pfeife als durchschlagend gedacht ist) in der Richtung der schwarzen Pfeile auf und nieder schwingen. Rechnet man, um ein Beispiel von den resultierenden Glottis-

¹⁾ Arch. f. Laryng. 7 (1898). Vgl. auch: W. Nagel, Problematisches in der Physiol. d. Stimmlippen, Zentralbl. f. Physiol. 21 (1907).

weiten zu geben, die Dimensionen $AB = CD = 10$ mm und die Amplituden der Schwingung in Richtung der schwarzen Pfeile zu 4 mm, so stellt sich der in der Laryngoskopierichtung projizierte Abstand der beiden Lippen im Moment des weitesten Ausschlagens immer noch zu weniger als $\frac{1}{4}$ mm dar. Da die gewählten Zahlen schon viel zu hoch sind, ergibt sich die Unmöglichkeit, Schwingungen von dieser Art anzunehmen.

Beim Gegenschlagmechanismus müssen die Schwingungen in der Richtung der roten Pfeile erfolgen. Dazu müßten die ganzen schwingungsfähigen Platten AB und CD nach außen zurückweichen können (entsprechend Ewalds Polsterpfeife A), oder, was bei einem Weichgebilde weit natürlicher ist, jede der beiden Platten müßte in der Querdimension AB bzw. CD verkürzbar, zusammendrückbar sein (Pfeife B , Fig. 125). Zur Erzielung einer maximalen Glottisweite von 2 mm brauchte in diesem Falle die Schwingungsamplitude nur 1 mm zu betragen.

Es fragt sich, ob solche Schwingungen möglich sind und mit den tatsächlichen Beobachtungen übereinstimmen. Die schon von Luschka hervorgehobene und seitdem oft erwähnte dick-keilförmige Gestalt der Stimmlippen muß das Auseinanderdrücken durch eine von unten andrängende Luftmenge sehr begünstigen, mehr als das Nachobendücken. In der letzteren, der longitudinalen Richtung muß allerdings auch eine Druckkomponente vorhanden sein, und man wird nicht bezweifeln dürfen, daß die Oberfläche des Stimmlippenpaares bei der Phonation etwas gehoben wird.

Wir sind leider nicht in der Lage, festzustellen, ob die Stimmlippen einen ähnlich dicken Querschnitt, wie ihn etwa die Fig. 120 zeigt, auch beim Phonieren beibehalten; wir müssen vielmehr a priori die Möglichkeit zugeben, daß die eigenartige Lagerung der Muskelfasern in den Stimmlippen diese im Moment der Stimmbildung zu relativ dünnen Bändern auseinanderpressen. Es liegt aber keinerlei positiver Anhalt hierfür vor. Dawider spricht vielmehr, wie schon oben angedeutet, der bei der Bruststimme so sparsame Luftverbrauch, der sich mit einem unter jener Annahme notwendig voraussetzenden Mechanismus durchschlagender Zungen schlecht vereinigen läßt, vor allem aber das stroboskopische Bild, das man leicht sehen kann, und das Musehold in so ausgezeichnete Weise photographiert hat: Wechsel zwischen vollem Glottisschluß und recht weiter Glottis. (Vgl. hierzu Taf. II, Fig. 3 u. 6). Diese Gründe sind meiner Meinung nach so zwingend, daß es ausgeschlossen erscheint, noch von einem Schwingen der Stimmlippen von oben nach unten (beim Brustregister!) zu sprechen ¹⁾.

¹⁾ Das Aussehen der Stimmlippen bei Brusttönen unter stroboskopischer Betrachtung zeigt so recht deutlich, wie unzutreffend die Bezeichnung „Stimmband“ für diesen abgerundeten Wulst ist. Musehold hat übrigens beobachtet (was man bei dieser Beschaffenheit und Schwingungsweise der Stimmlippen erwarten konnte), daß die Phase, während welcher die Glottis geschlossen ist, beträchtlich länger dauert als die Stellung in maximaler Erweiterung. Das zeigt sich darin, daß es sehr viel leichter ist, den Kehlkopf stroboskopisch im geschlossenen als im offenen Zustande der Glottis zu photographieren (von Musehold in einem nicht gedruckten Vortrag in der Berliner laryngologischen Gesellschaft vorgetragen).

Dies ist sehr begreiflich; die Stimmlippen schwingen nicht nur bis zur Berührung gegeneinander (mit Ausnahme der ganz piano angegebenen Brusttöne), sondern sie platten sich aneinander bei dem kräftigen Zusammenstoß ab, ein Teil

Es soll aber auch nicht gesagt sein, daß die Schwingungen rein in der Transversalebene erfolgen. Die weichen elastischen Stimmlippen werden vom Luftstrom, wie gesagt, auseinandergepreßt, aber auch nach oben getrieben. Welche Bewegung überwiegt, hängt von dem Widerstande ab, den die Stimmlippenmasse der Durchbiegung in der einen oder anderen Richtung entgegengesetzt.

Wenn wirklich, wie wir annehmen, die Stimmlippe im Brustregister bedeutende Dicke hat, so liegt es auf der Hand, daß diese Gestalt die Querschwingungen außerordentlich begünstigen muß, ganz im Gegensatz zu den Membranen künstlicher Kehlköpfe einschließlich der Leichenkehlköpfe, bei denen die dünne gespannte Membran weitaus am leichtesten über die Fläche durchgebogen wird. Die Durchbiegung der Stimmlippen in der Längsrichtung hat, wie Musehold annimmt, die Wirkung, daß die Bänder in einem nach oben konvexen flachen Bogen (in der Fig. 126 als punktierte Linie gezeichnet) schwingen. Daß die Schwingungen ungefähr in dieser Richtung erfolgen, nehme auch ich an, doch habe ich den Eindruck gewonnen, als ob Hin- und Rückschwingung nicht auf dem gleichen Wege erfolge, sondern die ganze Schwingungsbahn eine gestreckte Ellipse oder Schleife ist. Näheres hierüber wird noch zu ermitteln sein; am Prinzip der Sache ändert es nichts.

Es ist noch zu bemerken — auch hierin befinde ich mich mit Musehold in Übereinstimmung —, daß auch die eigentlichen Lippen, wenn sie durch Ausatmung nach mehr oder weniger festem Verschuß zum Tönen gebracht werden, nicht aufschlagend ausschlagend, sondern gegensschlagend, fast rein transversal schwingen. Auch in diesem Falle ist die Schwingung nicht rein quer, sondern es handelt sich um etwas verwickeltere Schwingungen. Das Prinzip der Gegenschlagpfeifen kann man sich an den Lippen geradezu besonders leicht veranschaulichen.

Musehold hat auch diesen Schwingungsvorgang stroboskopisch untersucht, indem er die Lippen an ein Glasrohr mit Trompetenmundstück ansetzen ließ und während intermittierender Beleuchtung betrachtete. Das beträchtliche Klaffen im einen, der volle Lippenschluß im anderen Umkehrpunkt der Schwingung war deutlich zu demonstrieren.

Der Kehlkopf funktioniert also dem Lippenpaar im Trompetenmundstück sehr ähnlich, hat aber mit den Zungenpfeifen der Oboe, des Harmoniums, sowie mit den membranösen künstlichen Kehlköpfen nur entferntere Beziehungen.

Auch der Mechanismus des Vogelkehlkopfes ist als Gegenschlagpfeife leichter verständlich als auf Grund des Zungenmechanismus.

In diesem Zusammenhange ist auch noch die Bedeutung der Anblasrichtung zu erwähnen, weil man auch hierbei auf Tatsachen stößt, die die Auffassung des Kehlkopfes als durchschlagende Zungenpfeife nicht zulassen.

Der menschliche Kehlkopf spricht in der Exspirationsrichtung weit leichter als in der umgekehrten an, nähert sich also darin der Ewaldschen Gegenschlagpfeife *A*. Immerhin ist auch inspiratorisches Phonieren besonders bei einiger Übung möglich; im Redestrom geschwätziger Leute hört man oft

der Zeit und der Energie wird hierfür verbraucht. Während dieser Phase des Glottisschlusses steigt der Druck in der Trachea schnell an, bis er wieder die zur Sprengung nötige Höhe erreicht.

auch die Inspiration zur Phonation verwendet (van Kempelen¹⁾), und bei nervösen Kindern kommt es vor, daß sie das expiratorisch gesprochene Wort inspiratorisch wiederholen. Man kann auch inspiratorisch singen, und zwar sowohl mit Brust- wie Falsettstimme²⁾. Bekannt ist, daß beim Weinen, Schluchzen, seltener beim Lachen auch die inspiratorische Stimme verwendet wird.

Manche Tiere phonieren in beiden Richtungen; so miaut die Katze, wie wohl E. du Bois Reymond³⁾ zuerst angab, inspiratorisch, Pferd und Esel können sehr laute Töne auf diese Weise erzeugen. Alle diese Tiere haben aber auch expiratorische Laute.

Ehe wir die Frage nach der Schwingungsweise der Stimmlippen im Falsett erörtern, wird es sich empfehlen, einiges Allgemeine über die Register mitzuteilen.

5. Die Stimmregister.

Von den Stimmregistern sagt Garcia in der für sein Forschen und Denken charakteristisch klaren Weise: „Wir verstehen unter Register eine Reihe von aufeinanderfolgenden homogenen, von der Tiefe zur Höhe aufsteigenden Tönen, die durch die Entwicklung desselben mechanischen Prinzips hervorgerufen sind, und deren Natur sich durchaus unterscheidet von einer anderen Reihe von ebenfalls aufeinanderfolgenden 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“⁴⁾.

Allgemein nimmt man jetzt in wissenschaftlichen Kreisen zwei Hauptregister an, die Bruststimme und die Falsettstimme. Letztere heißt auch Fistelstimme, manche nennen sie Kopfstimme, während andere Kopf- und Falsettstimme trennen wollen. Letztere Unterscheidung bleibt hier außer Betracht. Als drittes anerkanntes Register ist das Strohbaßregister zu nennen. Auch ein Mittelregister zwischen Brust- und Falsettstimme läßt sich einigermaßen abgrenzen. Am meisten interessieren hier das Brust- und Falsettregister.

An einer präzisen akustischen Definition der Register fehlt es noch. Wir wissen nur, daß die Falsetttöne ärmer an Obertönen sind als die Brusttöne, und daß die Strohbaßtöne etwas Rauhes an sich haben. Für das fein analysierende Ohr aber unterscheiden sich die Register deutlich, und auch das Gefühl dessen, der die Töne selbst hervorbringt, gestattet dem Geübten sicher die Angabe, in welches Register die Töne gehören. Es handelt sich um Lageempfindungen und Spannungsgefühle in den Stimmorganen, die sehr unbestimmter Natur sind und nur bei gehöriger Übung verwertet werden können. Viele Personen können einen Ton in dem einen oder dem anderen

¹⁾ Mechanik d. menschl. Sprache usw. Wien 1791, S. 104. — ²⁾ Segond, Arch. gén. méd. 17, 200, 1848. — ³⁾ Mitgeteilt von Katzenstein, Arch. f. Laryngol. 10 (2), 17. — ⁴⁾ Zit. nach Gutzmann.

Register angeben, ohne aussagen zu können, wie sie den Umschlag bewirken.

Es gibt objektive Merkmale, an denen ohne Zuhilfenahme der akustischen Analyse erkannt werden kann, ob ein Ton dem Brust- oder Falsettregister angehört. Der Kehlkopf steht bei der Bruststimme tiefer als bei der Fistelstimme; die Vibrationen des Brustkastens sind bei der Bruststimme beträchtlich stärker, die des Schädels dagegen auch bei der Fistelstimme sehr merklich, wenn auch nicht stärker als bei der Bruststimme (Rossbach¹⁾).

Die laryngoskopische Untersuchung während des Falsettsingens ist möglich. Man sieht als charakteristisch für dieses Register (ob mit Recht, lasse ich dahingestellt) feste Aneinanderlagerung der *Processus vocales* an, also kurze Glottis; dagegen erscheint sie beträchtlich weiter als im Brustregister (wenigstens in den tieferen Falsettönen) und von den leicht bogenförmig geschwungenen Stimmlippenrändern begrenzt.

Was die Schwingungsart der Stimmlippen im Falsett betrifft, so kann ich der Äußerung Grütznerns aus dem Jahre 1879, daß wir über sie genügend unterrichtet seien, selbst für die Gegenwart nicht zustimmen. Wegen der älteren Theorien des Falsett sei auf Grütznerns Darstellung (S. 101 ff.) verwiesen. Wir wissen so gut wie nichts sicheres.

Die Beobachtungen bieten große Schwierigkeiten, und irrige Voraussetzungen haben in die Deutung des tatsächlich Gesehenen einige Verwirrung gebracht.

Fest steht, daß der Luftverbrauch im Falsett größer ist als bei der Bruststimme, und nach den bestimmten Angaben Museholds (l. c.), daß, wie hiernach zu erwarten, die Glottis während des Tönens nicht zum völligen Schluß kommt. Garcia ließ einen Sänger einen Ton im Falsett und Brustregister möglichst lange aushalten. Die Luft reichte beim Falsett nur auf drei Viertel der Zeit, während der der Brustton zu halten war.

Lehfeldt²⁾ hat schon in der vorlaryngoskopischen Zeit die Theorie aufgestellt, daß beim Falsett die Stimmlippen nicht in ihrer ganzen Breite, sondern nur mit dem freien Rande schwingen. Die Beobachtungen von Oertel³⁾, der das Verdienst hat, die Stroboskopie in die Kehlkopfforschung eingeführt zu haben, wurden ebenso wie diejenigen Koschlakoffs⁴⁾ im Lehfeldtschen Sinne gedeutet. Oertel glaubte eine bogenförmige „Knotenlinie“ zu sehen, durch die jedes Stimmband in einen äußeren und inneren Teil geteilt wird. Diese Knotenlinie spukt trotz Réthis⁵⁾ vortrefflicher Richtigstellung noch immer in der Literatur, obgleich sie ganz bestimmt nicht existiert.

Die Oertelsche Knotenlinie mag manchem als Erklärung für das Falsett erschienen sein, der von der Erzeugung des Saiten-Flageolets durch Dämpfung an gewissen Knotenpunkten eine dunkle Erinnerung hatte. Derartiges kommt beim Falsett nicht in Betracht. Um überhaupt von einer Knotenlinie in einer Membran sprechen zu können, müßte man rechts und links von ihr gegensinnige Bewegung

¹⁾ *Physiol. u. Path. d. menschl. Stimme.* Würzburg 1869. — ²⁾ *Nonnulla de vocis formatione*, Berlin 1835. — ³⁾ *Zentralbl. f. d. med. Wissensch.* 1878 u. *Arch. f. Laryngol.* 3 (1894). — ⁴⁾ *Arch. f. d. ges. Physiol.* 38 (1886). — ⁵⁾ *Experimentelle Untersuchungen über den Schwingungstypus und Mechanismus der Stimmbänder bei der Falsettstimme.* Sitzungsber. d. Kaiserl. Akad. d. Wiss. Wien 105, III, 1896; ferner ebenda 106, III, 1897, und *Wiener Klin. Rundschau* 1897.

konstatieren können, wie Réthi richtig betont. Es müßte eine Schwingung wie im Schema Fig. 127 vorliegen. Um sie nachzuweisen, müßte man die auf und ab gehende Bewegung sehen können, was bei der monokularen Laryngoskopie natürlich unmöglich ist. Oertel spricht zwar von der Wahrnehmung solcher Bewegung, ohne aber anzugeben, wie sie ihm möglich wurde. Einige andere Autoren scheinen gleichsinnige Bewegung im ganzen Stimmband anzunehmen und reden doch von der Knotenlinie.

Koschlakoff, der an toten und lebendigen Kehlköpfen beobachtete, spricht ebenfalls von der Knotenlinie, hat aber tatsächlich am lebenden nur feststellen können, daß die Ränder stark schwingen, die übrigen Teile fast gar nicht. „Es war mir hier ebensowenig möglich, mich von den entgegengesetzten Bewegungen der Teile, welche zu beiden Seiten der Knotenlinie liegen, zu überzeugen, wie bei den Untersuchungen an toten Kehlköpfen.“

Koschlakoff glaubte also an die Knotenlinie, ohne sie gesehen zu haben. Auch Grützner und Ewald berichten unbedenklich über sie. In diesem Zusammenhang sind C. Müllers¹⁾ Beobachtungen an Pergamentmembranen genannt worden, bei denen ebenfalls Knotenlinien durch aufgestreuten Sand sichtbar wurden. Soviel ich sehe, handelte es sich hierbei aber um Resonanzvorgänge, überhaupt um Verhältnisse, die mit denen der Stimmlippen nicht vergleichbar sind.

Réthi (l. c.) hat am lebenden Kehlkopf stroboskopisch und am toten, sowie am präparierten Kehlkopf mittels mikroskopischer Beobachtung aufgestäubten Metallpulvers den Schwingungsmodus im Falsett untersucht und hat eine Knotenlinie niemals gefunden. Auch Musehold (l. c.) beschreibt nichts derartiges.

Die beiden letztgenannten Autoren geben dagegen an, und das ist zweifellos der richtige Kern in Lehfeldts Theorie und Oertels Beobachtung, daß die Schwingungen nur in einer ziemlich scharf abgegrenzten Randzone kräftig sind und die übrige Stimmlippe fast still steht. Daß sich an der Übergangsstelle von den starken Schwingungen zu der relativ ruhigen Zone eine Schleimlinie absetzt, wie Musehold beschreibt und abbildet, ist begreiflich.

Die Frage ist nun: welcher Art sind die Schwingungen der Randzone im Falsett? Funktioniert der Kehlkopf auch hier als Gegenschlagpfeife oder als Zungenpfeife, oder vielleicht gar als Lippenpfeife?

Eindeutige Beobachtungen hierüber liegen nicht vor, und auch ich verfüge über solche nicht. Musehold gibt, wie gesagt, bestimmt an, im Falsett schließe sich die Stimmritze nicht völlig, sie zeige nur Erweiterungen und Verengerungen in allerdings nicht unbeträchtlichem Umfange; im Gegensatz zur Bruststimme, wo der obere sichtbare Rand der Stimmlippe abgerundet ist, sieht Musehold ihn beim Falsett zugespitzt. (Vgl. Taf. II, Fig. 5 u. 4). Stoerk hat Czermaks Beobachtungsmethode am von außen her (durch die Haut) durchleuchteten Kehlkopf angewandt, bei der das Kehlkopfinnere im Laryngoskop gesehen wie in Rotglut und gleichsam durchsichtig erscheint. Bei der Falsettstimme schienen die Stimmlippen sich zu verdünnen, bis sie nur noch wie ein Flor über dem von unten durchschimmernden Lichte lagen.

Fig. 127.



¹⁾ Untersuchungen über einseitig frei schwingende Membranen, Kassel 1877.

Soweit spräche alles ja ganz deutlich für eine bandartige Verdünnung der Stimmlippen in ihren inneren Randpartien, die dann im Falsett als reguläre Membranzungen, in wohl etwas schräger Stellung gegeneinander geneigt, durchschlagend von oben nach unten zu schwingen hätten. Einer solchen Auffassung neigt Musehold zu, da er auch den Eindruck gewonnen hat, daß die Glottisränder im Falsett in der Tat auf und ab schwingen, also bei Fernrohrbeobachtung in der Mittelstellung unschärfer erscheinen als bei hoher oder tiefer Einstellung.

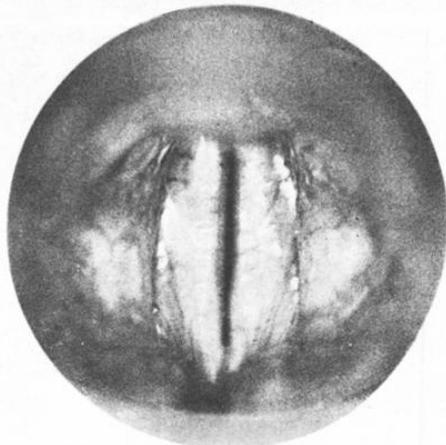
Das Bedenkliche ist dabei nur, daß Membranpfeifen der angenommenen Art beim Anblasen nicht schwingen und nicht tönen. Wollte man annehmen, daß sich die beiden Lippen ziemlich steil dachförmig aneinanderlegen, ähnlich wie in Fig. 124 b, so könnte man denken, es handle sich doch um aufschlagende Zungen. Dann müßte aber stroboskopisch voller Glottisschluß sichtbar werden. Tritt dieser also tatsächlich nicht ein, so sehe ich nicht, wie der Kehlkopf als durchschlagende oder aufschlagende Zungenpfeife funktionieren könnte, und seine Wirkungsweise bleibt einstweilen völlig ungeklärt. Die Schwingungen der Stimmlippen im Brustregister sind verständlich und auf Bekanntes zurückzuführen, freilich, wie wir sahen, nicht auf den Zungenpfeifenmechanismus, sondern auf den von Ewald im Modell veranschaulichten Polsterpfeifenmechanismus.

Daß die Stimmlippen im Falsett nach ganz anderem Prinzip schwingen sollten, will nicht recht einleuchten, da die Annahme einer Übergangsform zwischen Falsett und Brustregister im „Mittelregister“ (voix mixte) zu Recht besteht und es dem geschulten Sänger möglich ist, den Übergang aus Brust- in Falsettregister nahezu unmerklich zu machen. Das macht, wie mir scheint, die Annahme unabweisbar, daß auch die beiden Schwingungsmechanismen ineinander übergehen können, also nicht von Grund aus verschieden sind: Man vermöchte sich ja vorzustellen, daß im Strohmaß die Stimmlippen dick und breit mit schwacher Spannung aneinanderliegen, beim Brustregister mehr und mehr eine Verdünnung in der Höhendimension Platz greift, vielleicht, wie Ewald meint, mit dachförmiger Neigung der Stimmlippen gegeneinander, daß schließlich beim Übergang zum Falsett die Verdünnung namentlich in den Randteilen so hochgradig wird, daß diese fast allein schwingen, ohne Beteiligung der Hauptmasse der Stimmlippen. Das wäre alles gut und auch mechanisch verständlich zu machen, wenn nicht die Beobachtung der im Falsett weiten und sich in keiner Schwingungsphase schließenden Glottis alles zunichte machte. Hier muß neue Arbeit einsetzen, der Bewegungsmodus der Stimmlippenränder muß mit der stroboskopischen Methode und mit systematischer Ausnutzung der Czermakschen Durchleuchtung noch genauer erforscht werden. Im jetzigen Stadium kann man nur sagen: non liquet.

Bei dieser Sachlage erscheint es nicht sehr lohnend, die Hypothesen zu erörtern, die man zur Erklärung der besonderen Schwingungsweise der Stimmlippen im Falsett aufgestellt hat, während wir de facto noch gar nicht wissen, wie diese Schwingungsweise beschaffen ist. Erwähnenswert ist jedoch folgendes:

Während die Randpartie der Stimmlippe im Falsett schwingt, ist der übrige Teil nicht in völliger Ruhe. Er schwingt freilich nicht so, wie Oertel es zu sehen glaubte, dazu ist die dicke Gewebsmasse ganz außerstande. Nur eine überall annähernd gleichdicke Membran kann mit solchen Knotenlinien

Fig. 1.



c¹

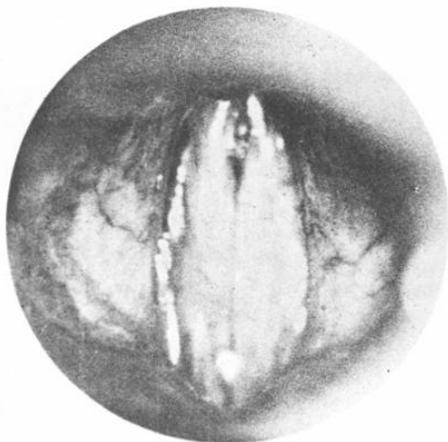
Bariton, Falsettregister.

Fig. 2.



c¹

Fig. 3.

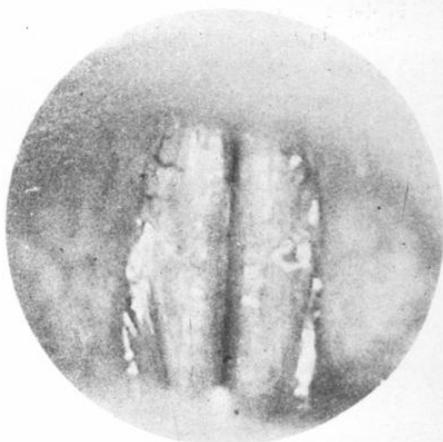


c¹

(forte, stroboskopisch).

Bariton, Brustregister.

Fig. 4.



c¹

(piano).

Fig. 5.



c¹

(stroboskopisch).
Falsettregister.

Fig. 6.



c¹

(stroboskopisch).
Brustregister.

Photographische Bilder der Stimmlippen
(nach Musehold).

(Erklärung zur Tafel siehe Rückseite.)

Erklärung zur Tafel.

Die Figuren sind nach Originalaufnahmen von Herrn Dr. Musehold reproduziert und stellen Ansichten des Kehlkopfes eines Baritonsängers dar.

In den Figuren 1, 2 und 4 ist der Kehlkopf während des Phonierens in gewöhnlicher Weise photographiert dargestellt, die Figuren 3, 5 und 6 sind auf stroboskopisch-photographischem Wege gewonnen. Bei Fig. 3 und 6 wurde Bruststimme gebildet, die Fig. 3 verfolgte die Aufnahme in der Verschlußphase, bei Fig. 6 in der Phase weitester Öffnung der Stimmritze. Fig. 5 zeigt die Stimmklappen beim Falsett in der Phase weiter Öffnung.

schwingen. Für die Stimmlippe ist die entsprechende Annahme ein physikalisches Unding. Musehold sah auf der Fläche des nichtschwingenden Teiles eine unregelmäßige Bewegung, die er auf Runzelung der Schleimhaut zurückführt. Auch ich habe Ähnliches gesehen, habe aber mehr den Eindruck eines unruhigen Wogens in der gespannten Muskulatur gehabt. Jedenfalls sind es keine eigentlichen Schwingungsvorgänge. Réthi hat eine von der eben erwähnten verschiedene Erscheinung bemerkt, die wichtig zu sein scheint. Er beschreibt sie folgendermaßen: „Wenn man den lebenden Kehlkopf den Ton der Sirene möglichst genau singen läßt, so sieht man den freien Rand des Stimmbandes nach aufwärts schwingen, dann rückt die Schärfe dieses Randes aber als eine Kante nach außen, während der freie Rand wieder abwärts geht, und diese Kante läuft, indem sie allmählich verstreicht, eine kurze Strecke weit lateralwärts ab. Oft sieht man schon die zweite Kante unterwegs, bevor die erste abgelaufen ist.“ Bei der Bruststimme war von solchen Wellen nie etwas zu bemerken.

An schwingenden Gummimembranen habe ich bei stroboskopischer Betrachtung seitlich ablaufende Wellen oft gesehen. Das Wesentliche aber an Réthis Beobachtung liegt darin, daß die stark schwingende Randpartie — nur auf diese beschränkt sich offenbar die seitlich ablaufende Welle — nicht einfach auf und nieder schwingen kann, sondern daß sie ihre Gestalt, ihren Querschnitt ändert und überhaupt nicht bandförmig flach ihre Schwingungen ausführt, vielmehr eine merklich prismatische Gestalt auch im Falsett behält. Die Réthische Beobachtung widerstreitet der Museholdschen nicht, da Réthis Kantenverschiebung wenigstens größtenteils in der inneren Stimmlippenpartie abläuft, die Musehold außer in den Umkehrpunkten der Schwingung etwas verschwommen sah. Die Konstruktion seiner stroboskopischen Scheiben mit ihrem Verhältnis von Schlitz zu Intervall wie 1:2 oder 1:3 reichte wohl aus, um die Stimmlippen in ihren relativen Ruhelagen bei den Umkehrpunkten der Schwingung scharf zu sehen und zu photographieren, nicht aber für die Stadien größter Bewegungsgeschwindigkeit.

Weiterführung ähnlicher Beobachtungen dürfte sehr aussichtsreich sein.

Réthi hat an toten Kehlköpfen in interessanter Weise die Entstehung des Falsetts erzwungen, indem er sagittal durch die Stimmlippen an der Stelle, wo die stark schwingende in die relativ ruhende übergeht, Nadeln parallel dem Glottisrande durchstach oder Fäden durchzog, die gespannt werden konnten. Es ist sehr leicht möglich, daß in vivo ein ähnlicher Vorgang sich abspielt, eine Absteifung der Stimmlippe in der erwähnten Linie. Es ist aber auch möglich, daß hier nur eine äußerliche und darum irreführende Ähnlichkeit vorliegt und in Wirklichkeit das Falsett, der üblichen Annahme entsprechend, durch Veränderung des Querschnittes der Stimmlippe, Verschiebung einer schmalen plötzlich sich verdünnenden Lippe erzeugt wird, oder endlich durch diesen und den von Réthi angenommenen Vorgang gleichzeitig.

Auf die von Réthi, Katzenstein und vielen anderen geäußerten Hypothesen über das relative Maß von Beteiligung der einzelnen Muskeln und Muskelpartien an der Stimmlippenspannung bei Brust- und Falsettregister näher einzugehen, scheint mir nicht ratsam, da diese Hypothesen doch noch einigermaßen in der Luft schweben, solange wir über den eigentlichen Schwingungsvorgang noch so sehr im unklaren sind.

Über das sogenannte Mittelregister liegt die Angabe von Réthi vor, daß bei ihm die Stimmlippen in größerer Ausdehnung schwingen als beim Falsett, also hierin Ähnlichkeit mit der Bruststimme besteht, während andererseits Mittel- und Falsettregister das Ablaufen der Réthischen Welle gemeinsam haben.

Über die Schwingungsformen im Strohbaßregister sind mir keine Beobachtungen bekannt. Hypothetisches ist bei Merkel zu finden.

Über die Beteiligung der einzelnen Register an der Gesamtheit der für eine Stimme verfügbaren Töne vgl. unten S. 748.

6. Toneinsatz und Tonansatz.

Unter „Toneinsatz“ versteht man die Art, wie man einen Stimmlaut beginnen läßt, also eine den Sprach- und Gesangslehrer mehr als den Physiologen interessierende Frage. Man pflegt drei Arten zu unterscheiden:

1. Gehauchter Stimmeinsatz. Die Stimmritze schließt sich erst zur Stimmbildung, nachdem schon die Expiration begonnen und mehr oder weniger lange gedauert hat. Dadurch entsteht ein mehr oder weniger deutliches H vor dem Stimmklang (Vokal oder Halbvokal, z. B.: Ha, Ho, Hān, Hm, Hl).

2. Scharfer Stimmeinsatz. Die Stimmritze schließt sich vor Beginn der Phonation völlig, und in dem Moment, wo die Bildung eines bestimmten Lautes erstrebt wird, sind die Spannungen und Stellungen der einzelnen Stimmwerkzeuge schon so gewählt, daß bei der halb aktiven, halb passiven Unterbrechung des Verschlusses sogleich der gewünschte Laut erklingt. Dabei entsteht ein Knall („Glottisschlag“), der so leise sein kann, daß er nur bei sorgfältigster Beobachtung erkannt wird, der aber auch sehr deutlich sein und dann zuweilen von einem ganz flüchtigen Reibegeräusch gefolgt sein kann, das den Stimmklang einen Moment begleitet. Die Stärke des Knalles oder die Schärfe ist individuell und je nach Umständen sehr verschieden. Beim Gesang ist der scharfe Einsatz verpönt, weil er auf die Dauer die Stimmbänder schädigt.

3. Der leise oder allmähliche Stimmeinsatz ist der beim Gesang erwünschte; er ist vielen Menschen von Hause aus eigen, muß dagegen von anderen mühsam erlernt werden. Er wird (z. B. von H. Gutzmann¹⁾ so definiert, daß sich die Stimmlippen bis zu der für das Tönen nötigen Enge nähern, aber ohne sich vorher zu schließen. Es liegt auf der Hand, daß dies ein in aller Strenge nicht erfüllbares Desiderat ist, da entweder ein unmerkbar kurzes Hauchen vorausgehen oder ein unmerkbar weicher Durchbruch der schon geschlossenen Stimmritze eintreten muß. Es liegt also streng genommen immer ein Einsatz nach 1. oder 2. vor, der eben praktisch als etwas Besonderes imponiert.

Barth²⁾ hebt das Ökonomische des leisen Einsatzes hervor, indem er sagt, daß sich die Stimmlippen nur gerade mit der für den beabsichtigten Ton erforder-

¹⁾ Stimmbildung und Stimmpflege. Gemeinverständliche Vorlesungen. Wiesbaden (Bergmann) 1906. (Ein zur Einführung in die Stimmphysiologie und Stimmhygiene sehr empfehlenswertes Werkchen.) — ²⁾ Zur Lehre vom Tonansatz. Arch. f. Laryng. 16, 3. Bezüglich Tonansatz vgl. auch: Hellat, Von der Stellung des Kehlkopfes beim Singen, ebenda 8; Spiess, Richtige Stimmbildung usw., ebenda 11; Bukofzer, Hygiene des Tonansatzes, ebenda 15; Flatau u. Gutzmann, Neue Versuche zur Physiol. d. Gesanges, ebenda 16.

lichen Energie schließen, so daß weder durch zu festen Stimmritzenschluß noch durch den hauchenden Anlaut Energie oder Atem verschwendet wird.

„Tonansatz“ ist ebenfalls ein dem Gesangs- und Sprachpädagogen geläufiger Begriff, auf den Barth neuerdings die Aufmerksamkeit der medizinischen Fachmänner gelenkt hat.

Beim gewöhnlichen Sprechen und beim Singen der meisten ungeschulten, sogenannten „Naturesänger“ werden nicht die für Erzielung eines kräftigen weit tönenden Schalles günstigsten Stellungen der Stimmwerkzeuge verwertet, es läßt sich vielmehr hierbei durch Schulung ein vorteilhafteres Arbeiten erzielen. Als vorteilhaft gilt bei den Gesangslehrern eine Konfiguration der Mundteile, durch welche die Schallwellen vom harten Gaumen aus nach außen reflektiert werden. Dem liegt die (durch Tatsachen freilich noch nicht belegte) Annahme zugrunde, der weiche Gaumen sei zu solcher Reflexion nicht geeignet.

Es wird selbst in Schriften laryngologisch erfahrener Autoren hierbei meist von „Resonanz“ des Gaumens geredet, während tatsächlich sinngemäß nur die Schallreflexion gemeint sein kann. Resonanz spricht hier gar nicht mit.

Wichtiger wohl als diese Frage ist die Erforschung der Raumverhältnisse im supralaryngealen Raum, also der Grad von Durchgangsfreiheit für die Schallwellen vom Kehlkopf bis zum Mundhöhlendach. Von besonderer Bedeutung ist hier offenbar die Höhenstellung des Kehlkopfes, sowie seine Stellung zur Vertikalen.

Barth (l. c.) hat durch graphische Registrierung dieser Stellungen nachgewiesen, daß bei Naturesängern, der üblichen Angabe und auch dem Resultat Hellats (l. c.) entsprechend, der Kehlkopf mit steigender Tonhöhe gehoben, mit sinkender gesenkt wird, während bei geschulten Sängern und Sängerinnen meistens die umgekehrte Bewegung, bei hohen Tönen also Tiefstand eintritt. Mit dem Tieftreten des Kehlkopfes ist ein deutliches Vorwärtsdrängen verbunden. Ich kann die Barthschen Angaben nach Beobachtung an einigen Sängerinnen bestätigen, doch berichten mir andere Beobachter von gegenteiligen Ergebnissen, es scheinen also individuelle Unterschiede vorzukommen. Hellats Angabe, wonach bei Geübten der Kehlkopf überhaupt im Tiefstand verharre, ist jedenfalls auch nicht für alle Fälle zutreffend.

Bei der Senkung des Kehlkopfes erreicht der untere Schildknorpelrand den oberen Rand des Brustbeines. Der tiefer und vorwärts tretende Schildknorpel zieht das Zungenbein mitsamt dem Kehldeckel mit herab und vorwärts. Das Ansatzrohr wird damit in der Länge und Weite vergrößert. Der Kehldeckelwulst ist verstrichen, der Morgagnische Ventrikel entfaltet, so daß die Schallwellen frei nach oben strömen können und laryngoskopisch die Stimmbänder leicht sichtbar werden. Umgekehrt wird beim Hochsteigen des Kehlkopfes dieser an das Zungenbein herangezogen, der Kehldeckelwulst wölbt sich stark an. Infolgedessen ist der Einblick in den Kehlkopf sehr beschränkt, der Austritt der Schallwellen gehemmt.

Der für vollen Stimmklang günstige und beim Kunstgesang bevorzugte Tiefstand des Kehlkopfes wird in gleicher Weise beim Gähnen erreicht. Auch der Nichtsänger überzeugt sich leicht davon, daß bei Gähnstellung die Erzeugung voller Töne begünstigt ist. Welchen Zweck das Tieftreten des Kehlkopfes gerade beim Steigen der Tonhöhe hat, bleibt zunächst unerklärt.

7. Sprechstimme und Singstimme.

Ein prinzipieller Unterschied zwischen Sprech- und Singstimme existiert nicht, sie gehen vielmehr ohne scharfe Grenze ineinander über. Nur werden beim Singen gewisse Eigenschaften der auch zum Sprechen verwendeten Klänge besonders begünstigt; der Weg für die Schallwellen wird im allgemeinen möglichst frei gemacht (s. o. S. 745). Es gibt aber auch Sprechstimmen, bei denen der Schallaustritt außerordentlich günstig ist und die deshalb „klangvoll, sonor“ erscheinen und eine große Tragweite haben.

Am deutlichsten unterscheiden sich Sing- und Sprechstimme in der Behandlung der Vokalklänge. In der Sprache wird der Grundton zugunsten der für den einzelnen Vokal charakteristischen Mundtöne (Formanten) so stark zurückgedrängt, daß man ihn überhaupt nicht oder nur in schwacher Andeutung heraushören kann. Beim Gesang dagegen muß der Grundton deutlich hervortreten, und es ist eine besondere Kunst des Sängers, diese Forderung mit der Wahrung des eigentlichen Vokalcharakters zu vereinigen, was namentlich bei den höchsten und tiefsten Tönen der menschlichen Stimme schwierig, ja schließlich unmöglich wird. In gewissen Gesangsformen, im sogenannten *Secco-Recitativ*, wird übrigens der Vokalcharakter und außerdem der Konsonantenklang so stark markiert, daß eine bedeutende Annäherung an den Sprechklang erzielt wird.

Mit den Beziehungen zwischen Sprech- und Singstimme hängt die Tatsache nur äußerlich zusammen, daß beim regulären Gesang die Tonhöhen verschiedener Laute sich stets um bestimmte, physikalisch definierte Intervalle unterscheiden müssen, während die Intervalle bei der Sprache ganz regellose sind. Ein ebenfalls ganz äußerlicher Unterschied, der zuweilen hervorgehoben wird, ist es, daß in der Sprechstimme fast auf jedem ausgehaltenen Klang (Vokal) die Tonhöhe wechselt, während beim Gesang besonders häufig für jeden tönenden Laut eine bestimmte Tonhöhe festgelegt ist. Die Regel ist das aber bekanntlich keineswegs.

Über die Höhenlage der Sing- und Sprechstimme siehe unten S. 747.

8. Der Umfang der Stimme.

Der Bereich der Töne, die das Individuum singend hervorbringen kann, pflegt ungefähr zwei Oktaven zu umfassen. Bei nicht besonders stimmbegabten oder geübten Personen sind die höchsten und tiefsten Töne dieses Bereichs nur unvollkommen zu erzeugen. Andererseits kann durch Übung und Umfang noch etwas gesteigert werden. Einzelne Sängerinnen (Catalani) hatten bis zu dreieinhalb Oktaven Stimmumfang, drei Oktaven findet man häufiger. Bei Kindern ist der Umfang der Singstimme beträchtlich kleiner, im sechsten Jahre höchstens eine Oktave, dann allmählich steigend (Paulsen¹⁾).

Die Tonlage der am leichtesten erzeugbaren Töne sinkt ziemlich schnell. Nach Garbini²⁾ liegen die ersten Schreie und das Schreien in den ersten zwei Monaten zwischen f^2 und f^3 , dann vom zweiten bis achten Monat zwischen c^2 und c^3 . Derselbe Autor gibt für das Alter von drei bis fünf Jahren den Stimmumfang zu a bis d^2 an.

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 61, 407. — ²⁾ Memorie dell' Accad. d'Agricoltura, Arti e Commercio di Verona 68, 3, 1892.

Für die eigentliche Singstimme ist letztere Angabe offenbar nicht gemeint, denn deren Umfang ist weit kleiner. Auch die Angaben für die erste Zeit erscheinen mir zu hoch. Die phonographischen Feststellungen von Flatau und Gutzmann¹⁾, nach denen die Säuglinge anfangs besonders häufig um a^1 bis h^1 schreien, finde ich richtiger. Töne von a^1 bis a^2 kamen im ganzen vor, nur eine Ausnahme mit dem Umfang h bis a^3 kam zur Beobachtung (sechstägiges Mädchen).

Paulsen (l. c.) fand bei sechsjährigen Knaben den Stimmumfang meistens zwischen d^1 und a^1 , seltener nach unten bis c^1 , nach oben bis c^2 gehend. Bei meinem jetzt vierjährigen Knaben liegt die Singstimme zwischen d^1 und h^1 . Weitere Angaben sind bei Vierordt²⁾, Paulsen (l. c.) und Gutzmann³⁾ zu finden.

Bei Erwachsenen ist der verfügbare Umfang in seiner absoluten Höhenlage sehr wechselnd. Für die gebräuchlichen Bezeichnungen Baß, Tenor, Alt und Sopran gibt die beistehende Tabelle den beziehungsweise Umfang an:

	Nach Marx ⁴⁾	Nach J. Müller ⁵⁾	Schwingungszahlen nach J. Müller
Baß	$F - e^1$	$E - f^1$	80 — 341
Tenor	$c - h^1$	$c - c^2$	128 — 512
Alt	$g - d^2$	$f - f^2$	170 — 683
Sopran	$c - b^2$	$c^1 - c^3$	256 — 1024

Nach Müller sind demnach die Töne $c^1 - f^1$ für alle Stimmen gemeinsam. Über c^3 hinaus reicht die Stimme nicht weniger Soprane. In der „Zauberflöte“ singt die „Königin der Nacht“ bis f^3 ; A. Patti erreichte g^3 mit 1536, andere erreichten sogar c^4 und e^4 (2560 Schwingungen).

Der verschiedenen Höhenlage der Stimme entspricht verschiedene Größe des Kehlkopfes, vor allem verschiedene Stimmbandlänge. Diese beim Manne verhält sich zu der beim Weibe etwa wie 3:2 (J. Müller⁵⁾). Die Länge des nicht gedehnten Stimmbandes beträgt nach Müller 18,25 mm beim Manne, 12,6 mm beim Weibe. Um die Pubertätszeit wächst der männliche Kehlkopf sehr schnell, der weibliche ebenfalls beschleunigt, doch lange nicht so sehr wie der männliche.

Die männliche Sprechstimme bewegt sich nach Gutzmann (l. c.) etwa zwischen A und d , die weibliche und kindliche im allgemeinen eine Oktave höher. Die individuellen Unterschiede sind aber hier sehr groß. Die meisten Menschen sprechen bei öffentlichem Vortrag in höherer Tonlage als beim gewöhnlichen Sprechen. Ein weiterer Unterschied soll nach Billroth⁶⁾ darin liegen, daß man beim gewöhnlichen Sprechen in Moll spreche, mit Bevorzugung der kleinen Terz, beim öffentlichen Vortrag dagegen sogleich zu Dur und zur großen Terz übergehe.

¹⁾ Arch. f. Laryng. 18 (1906). — ²⁾ Physiologie des Kindesalters. Tübingen (Laupp) 1881, S. 449 ff. — ³⁾ Stimmbildung und Stimmpflege. Wiesbaden (Bergmann) 1906, S. 75 ff. — ⁴⁾ Die Lehre v. d. musik. Komposition, 1. Teil, 5. Aufl., 1858. — ⁵⁾ Handbuch der Physiologie 2 (1), 200, 1837. — ⁶⁾ Zit. nach Gutzmann.

Die Verteilung der Register auf den gesamten verfügbaren Umfang gibt Rossbach ¹⁾ folgendermaßen an:

Für den Mann:		Für das Weib:	
Stroh- und Kehlbass	$E_1 - E$	Bruststimme	$d - a^1$
Bruststimme	$E - e^1$	Falsett	$c^1 - e^3$
Falsett	$e - e^2$		

9. Die Genauigkeit der menschlichen Stimme.

Klünder ^{2) 3)} bestimmte unter Hensens Leitung die Genauigkeit, mit der die Singstimme eine bestimmte Tonhöhe festzuhalten vermag, und zwar sowohl mittels Auszählen von Schwebungen zwischen einem festgegebenen und einem nachgesungenen Ton ²⁾, wie auch bei graphischer Registrierung beider Töne ³⁾. Zu gleichem Zweck ließ Hensen ⁴⁾ das Bild einer durch die Stimme zum Oszillieren gebrachten Königschen Flamme durch eine Stimmgabel horizontal auseinanderziehen, wobei die Gestalt des Flammenbildes bei vollkommener Konstanz der Tonhöhe von Stimmgabel und Singstimme konstant bleibt, bei Differenzen in der Schwingungszahl aber gesetzmäßige Veränderungen zeigt. Hensen hat das Verfahren nur dazu verwendet, um zu zeigen, daß kein Sänger imstande ist, die gegebene Tonhöhe längere Zeit festzuhalten. Das graphische Verfahren Klünders ermöglicht zahlenmäßige Angaben über die Genauigkeit der Tonhaltung. Klünder selbst, mit geübtem Gehör begabt, aber kein Sänger, machte folgende Schwankungen (Dauer des ausgehaltenen Tones wurde nicht angegeben):

Für den Ton	Schwankung in Bruch- teilen einer Schwingung	In Prozenten der Schwingungs- zahl
G (96 Schwingungen) . . .	$\pm 0,3281$	$\pm 0,342$
c (128 ") . . .	0,4703	0,364
g (192 ") . . .	0,6195	0,323
c^1 (256 ") . . .	0,5870	0,230

Dabei kombinieren sich natürlich die Fehler, die das Ohr in der Tonhöhenbeurteilung und der Kehlkopf in der Tonregulierung macht. Da die Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen nur um ein geringes feiner ist, als dem Betrag dieser Schwankungen entspricht ⁵⁾, muß die Genauigkeit der Einstellung der Tonhöhe im Kehlkopf als überraschend groß bezeichnet werden, um so mehr, da ein besonders geschulter Gesangskünstler die von Klünder erreichte Genauigkeit noch übertreffen dürfte.

Neuerdings hat Grützner ⁶⁾ eine Vorrichtung beschrieben, die ähnlich der Hensenschen die Genauigkeit der Übereinstimmung zwischen Stimmgabel- und

¹⁾ Physiol. u. Path. d. menschl. Stimme. Würzburg 1869. — ²⁾ Ein Versuch, die Fehler zu bestimmen, welche der Kehlkopf beim Halten eines Tones macht. Inaug.-Diss. Marburg 1872. — ³⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1879, S. 119. — ⁴⁾ Ebenda S. 155. — ⁵⁾ Vgl. dieses Handbuch 3, 483 ff. — ⁶⁾ Über die Genauigkeit d. menschl. Stimme, „Die Stimme, Zentralbl. f. Stimm- und Tonbildung usw.“ 1907.

Stimmton veranschaulichen läßt, zu systematischen Messungen aber nicht benutzt zu sein scheint. Der Apparat ist dem Samojloffschen¹⁾ ähnlich. Daß Tonhöhenunterschiede, um für das Ohr merklich zu sein, mehrere Prozent betragen müßten, wie es bei Grützner heißt, ist etwas hoch gegriffen.

Auch bei successivem Erklängen des angegebenen und des gesungenen Tones, ja selbst bei freiem Einsatz eines verlangten Tones ist die Genauigkeit erstaunlich groß; sichere Angaben darüber kenne ich allerdings nicht.

In der freien Einstellung auf bestimmte Tonhöhe liegt eine Besonderheit der Kehlkopfmuskulatur, die von keiner anderen Muskelgruppe des Körpers, einschließlich Augenmuskeln, auch nur annähernd erreicht wird. Dabei wäre es durchaus unrichtig zu behaupten, daß ein feines Muskelgefühl der Kehlkopfmuskulatur dafür die Vorbedingung gäbe. Man hat von Hause aus kein Gefühl und kein Bewußtsein der verschiedenen Stellungen des Kehlkopfes und seiner Teile zueinander, wie bei den für das Auge direkt sichtbaren Extremitäten. Dagegen ist sich der geübte Sänger dessen bewußt, auf welche Tonhöhe der Kehlkopf eingestellt ist, schon ehe der Ton erklingt. Die Korrektur des schon erklingenden Tones unter Kontrolle des Ohres darf ja nur minimale Beträge erreichen. Es ist übrigens nicht unwahrscheinlich, daß man durch jahrelange autolaryngoskopische Übung die Bewegungs- und Lageempfindungen des Kehlkopfgebietes so auszunutzen lernte wie etwa diejenige der Hände. Auch die Erlernung atypischer, z. B. einseitiger Stimmbandbewegungen auf diese Weise scheint möglich zu sein (vgl. oben S. 720).

Besonders erschwert ist das Halten einer bestimmten Tonhöhe bei Tönen, deren Stärke man erheblich an- oder abschwollen lassen will. Alle Membranpfeifen gehen mit zunehmender Windstärke mit dem Ton in die Höhe, und es ist nicht anzunehmen, daß bei Gegenschlagpfeifen die Sache anders liegt, zumal auch beim Gesang die Verschiebung in gleichem Sinne einzutreten pflegt. Schutz gegen solche unbeabsichtigte Tonhöhenschwankungen, wie auch gegen das sogenannte Detonieren bei einer längeren Tonfolge ist übrigens nicht nur in der Übung der Kehlkopfmuskulatur gegeben, sondern ein ganz besonders wirksamer Schutz liegt im Besitz des sogenannten absoluten Gehörs²⁾.

10. Der zur Stimmerzzeugung nötige Druck.

Die zum Anblasen des Kehlkopfes nötigen Druckwerte sind wiederholt bestimmt worden. Am toten Kehlkopf sind die Werte weit niedriger als am lebenden. An jenem fand sie J. Müller³⁾ bei tiefen Tönen zwischen 13 und 26 mm Wasser, bei hohen Tönen zwischen 80 und 135 mm, je nach der Stärke des Tones. Am lebenden Menschen mit Luftröhrenfistel beobachtete Cagniard-Latour⁴⁾ bei mittleren Tönen 160 mm, bei höheren 200 mm, bei lautem Rufen bis 945 mm Wasser. Ähnlich sind die Ergebnisse Grützners (Hermanns Handb. I, 2, 64), der beim Singen des Tones c^1 im Mittel 150 mm,

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 78 (1899), vgl. unten S. 777. — ²⁾ Bei einem $3\frac{1}{2}$ -jährigen Knaben, der sonst keine Zeichen musikalischer Begabung gab, konnte ich zu meiner Überraschung konstatieren, daß er das a^1 einer Stimmgabel ohne jede Einübung nicht nur recht rein nachsang, sondern auch nach mehreren (bis zu fünf) Minuten es sicher wiederfand. Nach solchen Pausen kamen im Einsatz allerdings Fehler bis zu einem halben Ton vor, die aber schnell nach dem akustischen Erinnerungsbild korrigiert wurden. Mutter und Großvater des Kindes besitzen sogenanntes absolutes Gehör. — ³⁾ Über d. Kompensation d. physischen Kräfte am menschl. Stimmapparat, Berlin 1839, u. Handb. d. Physiol. 2. — ⁴⁾ Ann. scienc. nat. 1837, (2) 7, 180; 8, 319.

bei f^1 190 mm Wasserdruck fand. Der höchste erzielte Druck bei hohen starken Tönen betrug 30 mm Hg. Als der Kehlkopf durch krankhafte Prozesse geschädigt war, kamen nur viel niedrigere Druckwerte vor.

11. Die Luftbewegung im Munde bei der Stimmbildung.

Die Luftströmung in und vor dem Munde beim Phonieren und Flüstern ist von verschiedenen Autoren gemessen worden. Lucae¹⁾ hat zu diesem Zwecke (hauptsächlich für die Bedürfnisse der otiatrischen Praxis) zwei als Phonometer bezeichnete Apparate konstruiert, die den Anemometern der Meteorologie ähnlich sind; der Luftstrom lenkt ein pendelnd aufgehängtes Glasplättchen um einen meßbaren Winkel aus seiner Ruhelage ab. Weitere Untersuchungen sind von Reuter²⁾, Gellé³⁾ und Zwaardemaker⁴⁾ veröffentlicht worden. Zwaardemaker verwendete verschiedene einander kontrollierende Methoden, Pitotsche Röhren, sein Aerodromometer und die kleine akustische Torsionswaage von Dvořák. Die Ausströmungsgeschwindigkeit der Luft bei ruhiger Exspiration ist beträchtlich größer, als bei einem gesungenen Ton, nach Angabe von Zwaardemaker (l. c.) in einem gegebenen Fall 11mal größer. Derselbe Autor teilt Messungen des Luftverbrauches beim Singen mit; dieser stellte sich bei einer Sängerin auf 23 ccm pro Sekunde für ein getragenes Lied, auf 50 ccm bei Staccato. Unter der Annahme eines Trachealdruckes von 14 ccm H₂O berechnet Zwaardemaker hieraus einen Energieaufwand pro Sekunde von $0,45 \cdot 10^6$ Erg für das getragene Lied, von $0,98 \cdot 10^6$ Erg für das Staccato.

Anders müssen die Verhältnisse werden, wenn der herrschende Druck um nennenswerte Beträge von dem gewöhnlichen Atmosphärendruck abweicht. Auch hierüber liegen einige Beobachtungen vor, die allerdings hauptsächlich die akustischen Verhältnisse berücksichtigen.

Beim Aufenthalt in verdichteter Luft ändert sich der Stimmklang, wie Heller, Mager und v. Schrötter⁵⁾ feststellten, die in Caissons bei einem Überdruck bis zu 3,6 Atmosphären beobachteten. Die Stimme bekommt einen näselnden oder metallischen Beiklang. Bei leisem Sprechen und Flüstern merkt man davon nichts. Schon mäßiger Überdruck (0,5 Atm.) ändert die Stimme etwas. Vielfach beobachtet ist die Erschwerung des Pfeifens in Druckluft.

Die Beobachtungen der genannten Autoren machen es wahrscheinlich, daß der Einfluß der Druckluft auf die Ohren für jene Klangveränderungen ohne oder jedenfalls von geringer Bedeutung sind; als rein subjektiv können sie keinesfalls aufgefaßt werden. Loewi⁶⁾ zeigte, daß auch Lippen- und Zungenpfeifen im pneumatischen Kabinet schlecht ansprechen und um so höheren Überdruck verlangen, je größer der absolute Druck ist. Zum Mundpfeifen müssen die Lippen anders als im gewöhnlichen Atmosphärendruck eingestellt werden.

¹⁾ Zur Prüfung des Sprachgehöres. Arch. f. Ohrenheilk. 64, 155, 1905. — ²⁾ Zeitschr. f. Ohrenheilk. 47, 91, 1904 und Onderz. Physiol. Laborat., Utrecht (5) 5, 239, 1904. — ³⁾ Zitiert nach Chauveau, Le Pharynx, Paris 1901, p. 355. — ⁴⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1902, Suppl. 417; 1904, Suppl. 243; 1906, 433. — ⁵⁾ Beobachtungen über physiologische Veränderungen der Stimme und des Gehörs bei Änderungen des Luftdruckes. Sitz.-Ber. k. Akad. Wien, math.-nat. Kl. 106, III, 5, 1897. — ⁶⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1899, Suppl. 555.

12. Das Flüstern.

Bei der sogenannten Flüsterstimme wird im Kehlkopf kein Klang erzeugt, sondern nur ein hauchendes oder reibendes Geräusch, das durch Verengerung der Stimmritze und dadurch bewirkte Wirbel in der Expirationsluft erzeugt wird. Nach Czermak ¹⁾ werden die Stimmfortsätze stark adduziert, so daß die Glottis in der Mitte am engsten ist. Bei manchen Formen des Flüsterns sollen auch die Stimmlippen in der Hauptsache aneinanderliegen, und nur die dreieckige *Glottis intercartilaginea* offen sein.

Das Flüstergeräusch läßt keine bestimmte Tonhöhe erkennen, dagegen sehr deutlich bestimmten Vokalcharakter je nach der Gestalt des Ansatzrohres. Flüstert man nacheinander *A* und *I*, so unterscheidet der Hörer leicht die Vokale, erkennt auch, daß der *I*-Klang weit höher ist als der *A*-Klang. Auf einen bestimmten geflüsterten Vokal kann man aber keine Melodie singen.

Wer in dieser Weise flüsternd zu singen versucht, glaubt meist ganz deutlich eine geflüsterte Melodie hervorzubringen, weil er entsprechend dem beabsichtigten Tonhöhenwechsel die Stimmbandspannung ändert und sich damit die Vorstellung veränderter Tonhöhe verknüpft. Der Zuhörer hört aber nur immer dasselbe Geräusch und kann die Melodie höchstens aus dem Rhythmus erraten.

Das Reibegeräusch im Kehlkopf läßt sich auch ersetzen durch ein an anderer Stelle im Munde erzeugtes, z. B. durch Einblasen von Luft mittels eines durch die Nase in den Rachen geführten Katheters (Deleau ²⁾). Auch durch die Mundöffnung kann das Einblasen erfolgen. Entsprechende Mundstellung läßt dann deutlich bestimmte Vokale erkennen.

13. Einige besondere Stimmarten.

Wegen der Entstehungsweise der heiseren, rauhen, belegten Stimmklänge muß auf die pathologischen Werke verwiesen werden. Die akustische Analyse dieser Klangarten fehlt noch gänzlich. Auch für den nasalen Stimmklang gilt letzteres, doch sind hier wenigstens bezüglich der Ursachen für die Entstehung des besonderen Klanges allerlei Ermittlungen gemacht worden.

Bei dem Bilden eines reinen Vokalklanges schwingt die Luft der Nasenhöhle nur insofern mit, als ihr von den schwingenden Kopfknochen Erschütterungen mitgeteilt werden. Daß für den Charakter des Klanges dieses Mitschwingen irgendwelche Bedeutung habe, ist nicht nachgewiesen. Wäre es der Fall, so würde das Öffnen und Schließen der Nasenlöcher nicht so ganz einflußlos sein können, wie es tatsächlich ist. Von merklichem Einfluß ist dagegen die Öffnung und Schließung der Nasenlöcher bei den „nasalierten Vokalen“ *an*, *on* usw. Zwar lassen sich diese sowohl bei offener wie zugehaltener Nase erzeugen, doch ist der Klang etwas verschieden. Die zuhaltenden Finger fühlen übrigens ein leichtes Schwingen der Nasenflügel. Offenstehen der Verbindung zwischen Rachen- und Nasenhöhle, also Senkung des Gaumensegels, ist für die Entstehung dieser Klänge unerläßlich. Vergrößerung und Formveränderung des Ansatzrohres ist es, was durch die Senkung des weichen Gaumens eintritt. Austritt der Luft durch die Nase ist für die nasalierten Vokale wie gesagt nicht notwendig.

¹⁾ Der Kehlkopfspiegel. Leipzig 1863, S. 85. — ²⁾ Mém. Acad. scienc. 26 juin 1830, publiée 1838 (zit. nach Grützner).

Wohl aber ist dies der Fall bei den sogenannten Resonanten *M*, *N*, *Ng*, bei denen die sogenannte Expirationsluft durch die Nase entweicht. Bei diesen Lauten schwingt die Luft im Rachen- und Nasenraum, bei *N* noch die der hintersten Mundhöhlenpartie, bei *M* die gesamte in der vorn geschlossenen Mundhöhle enthaltene Luft mit. Die Nasenflügel schwingen deutlich.

Versucht man bei geschlossenen Lippen und zugehaltener Nase einen Stimmtönen (*M*) zu erzeugen, so entsteht ein „Blählaut“ (Purkinje), der wegen des großen komprimierbaren Luftquantums länger aushaltbar ist als die Blählaute bei gehobenem Gaumensegel.

Die Resonantenklänge bezeichnen wir übrigens nicht als nasal oder näselnd. Zur Erzeugung dieses Eindrucks muß vielmehr auch die geöffnete Mundhöhle mit als Resonator dienen.

Das eigentliche „Näseln“ oder „durch die Nase Sprechen“ kann auf mehrere verschiedene Arten zustande kommen, und Kliniker unterscheiden daher auch mehrere Abarten desselben. Die häufigsten Ursachen sind unvollkommener Gaumenschluß (Gaumendefekt) und Verengerung der Nasenhöhle durch Polypen, Muschelhypertrophie u. dgl. Einige Einzelheiten, sowie ältere Literatur vergleiche bei Grützner. Ich gehe auf das Näseln nicht näher ein, weil über seine Entstehung bis jetzt nichts abschließendes bekannt ist; Saenger¹⁾ hat ermittelt, daß die Resonanz der eigentlichen Nasenhöhle dabei keine Rolle spielt. Von Helmholtz (Tonempfindungen, S. 192) wird angegeben, daß der näselnde Klang der zweizüngigen Blasinstrumente (Oboe usw.) durch Vorwiegen zahlreicher ungeradzahliger Obertöne bedingt sei. Bei wenigen nur ungeradzahligen Obertönen wird der Ton „hohl“ (tiefe Fagottöne). Ob Ähnliches auch für die näselnden und nasalen Töne der Stimme gilt, ist nicht bekannt.

Das sogenannte Bauchreden bezweckt eine Täuschung des Zuhörers über die Herkunft der Stimme. Wie J. Müller treffend bemerkt, spielen dabei Täuschungen anderer Art als eigentliche Gehörstäuschungen stark mit. Eine phonetisch interessante Besonderheit hat die Bauchrednerstimme nicht. Daß sie inspiratorisch sei, wie früher geglaubt wurde²⁾, trifft nicht zu (J. Müller). Die Stimme wird meist hoch und im Falsettregister verwendet, unter möglichst wenig merklichen Mundbewegungen. Müller³⁾, der selbst die Kunst des Bauchredens beherrschte, inspirierte vorher tief und expirierte bei tiefstehendem Zwerchfell rein durch Brustatmung und anscheinend mit geringem Luftverbrauch. Über die Stellung des Kehlkopfes sind die Angaben verschieden. Grützner⁴⁾ gibt extremen Hochstand an, Flatau⁴⁾ und Gutzmann⁵⁾ dagegen mittleren oder tiefen Stand. Offenbar kann die beabsichtigte Wirkung auf recht verschiedene Weise erzeugt werden.

14. Das Pfeifen.

Außer durch Luftstöße nach dem Sirenenprinzip kann auch noch auf andere Weise an verschiedenen Stellen des Stimmkanals ein musikalischer

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 63, 66. — ²⁾ Ammann, Dissert. de loquela, 1700; Haller, Physiologie; Segond, Arch. gén. de méd. 17 (1848; zit. nach Grützner). — ³⁾ Handb. d. Physiol. 2, 240. — ⁴⁾ Op. cit., S. 130. — ⁵⁾ Monatsschr. f. d. ges. Sprachheilk. 1893, S. 113f

Klang erzeugt werden, nämlich nach dem Prinzip der Labial- oder Flötenpfeifen, bei denen eine eingeschlossene Luftmasse ohne Vermittelung einer Zunge in Schwingungen gebracht wird. Am leichtesten und am kräftigsten geschieht das unter bedeutender Verengung der Mundöffnung. Die Tonhöhenvariiierung geschieht hauptsächlich durch Veränderung des schwingenden Luftquantums durch Vor- und Zurückschieben der Zunge, außerdem aber auch durch Veränderung der Größe der Mundöffnung. Das Pfeifen gelingt ebensogut expiratorisch wie inspiratorisch.

Manche Personen vermögen auch bei geöffneten Lippen zu pfeifen, indem sie die vordere Abgrenzung des Luftraumes mittels Zunge und Zahnreihe bewirken. Es ist möglich, zwei Töne gleichzeitig zu pfeifen und z. B. eine Melodie in Terzen erklingen zu lassen. Wie das gemacht wird, habe ich nicht ermitteln können.

Bemerkenswerterweise können auch im Kehlkopf Pfeiftöne, allerdings nur leise, erzeugt werden¹⁾, und zwar sowohl bei offenem wie geschlossenem Munde. In dem von Schultz genau untersuchten Fall umfaßten die Pfeiftöne fast zwei Oktaven (g^2 bis f^4). Es wurde eine relativ große Luftmenge unter geringem Druck verbraucht, wie bei der Falsettstimme. Die Glottis war klein und rautenförmig, Schwingungen der Stimmlippen waren nicht zu beobachten. Auch in diesen Fällen ist also wohl an den Labialpfeifenmechanismus zu denken.

15. Die akustische Bedeutung des Ansatzrohres.

Bei Blasinstrumenten mit schwingenden Zungen hat bekanntlich das Ansatzrohr unter gewissen Umständen einen Einfluß nicht nur auf die Intensität und Klangfarbe des Tones, sondern auch auf seine Höhe, d. h. die Schwingungszahl. In diesem Falle zwingt das Ansatzrohr der Zunge die Schwingungszahl auf, die dem Eigenton der in ihm enthaltenen Luftsäule entspricht; Veränderung der Rohrlänge oder Öffnung seitlicher Löcher am Ansatzrohr, wie sie bei der Klarinette usw. benutzt werden, ändern also die Tonhöhe und die Schwingungszahl der Zunge. Eine volle Selbständigkeit hinsichtlich ihrer Schwingungen behält die Zunge nur, wenn zwischen ihren Massen-, Größen- und Elastizitätsverhältnissen und den Dimensionen des Ansatzrohres ein solches Mißverhältnis besteht, daß sie nicht im Tempo des Eigentones dieses Rohres schwingen kann, also z. B. wenn eine Zunge mit hohem Ton ein sehr geräumiges weites Ansatzrohr trägt.

Sind die Dimensionen so beschaffen, daß eine Beeinflussung möglich ist, so tritt diese verschieden leicht und in verschiedenem Grade je nach der Beschaffenheit der Zunge ein. Zungen mit geringer Masse und kleiner Elastizität, vor allem also die membranösen Zungen, unterliegen dem Einfluß des Ansatzrohres am ausgiebigsten. Eingehende Untersuchungen von J. Müller, W. Weber²⁾, Harless, Merkel und anderen liegen hierüber vor. Vgl. auch Grützner, l. c. S. 12 ff. Für die Physiologie des Kehlkopfes haben diese Erfahrungen keine direkte Bedeutung, da ein Einfluß des Ansatzrohres auf die

¹⁾ F. Semon, Internat. Zentralbl. f. Laryngol. 1901, Heft 9; P. Schultz, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1902, Suppl.; Lüders, Über einen Fall von laryngealem Pfeifen, Diss., Berlin 1902. — ²⁾ Ann. d. Phys. 16, 1829.

Tonhöhe mit Bestimmtheit auszuschließen ist. Der Kehlkopf bildet, was manchen Autoren nicht hinreichend klar geworden ist, geradezu ein typisches Beispiel für ein Blasinstrument, dessen Tonhöhenänderung von der Gestalt des Ansatzrohres in weitgehendem Maße unabhängig ist. Weder beim Natur- noch beim Kunstsänger ändert sich das Ansatzrohr gesetzmäßig mit dem im Kehlkopf erzeugten Tone. Während ein Ton bestimmter Höhe gesungen wird, kann die Mundöffnungsweite beträchtlich geändert werden, ja es kann sogar das Gaumensegel den Seitenweg zur Nasenhöhle abwechselnd freigeben und wieder schließen, ohne daß die Tonhöhe sich im geringsten ändert. Die Klangfarbe und einigermaßen auch die Intensität des Klanges werden beeinflußt, die Schwingungszahl bleibt konstant, ohne daß irgendwelche kompensatorische Vorgänge im Kehlkopf Platz greifen. Die Leichtigkeit, mit der selbst der Ungeübte einen Ton bei wechselnder Gestalt des Ansatzrohres festhält, beweist das klar genug.

Bemerkenswert ist, daß diese Bedeutungslosigkeit des Ansatzrohres auch für die Falsettstimme gilt, bei deren Mechanismus, wie er von vielen angenommen wird (dünne, membranöse Zungen), am ehesten an das Aufzwingen bestimmter Schwingungsgeschwindigkeiten durch das Ansatzrohr gedacht werden könnte.

Die tatsächliche Einflußlosigkeit des Rohres auch im Falsettregister spricht andererseits eher zuungunsten der eben erwähnten Auffassung von der Schwingungsweise im Falsett. Entscheidend ist dies Argument freilich durchaus nicht, da die Beschaffenheit des Ansatzrohres im menschlichen Stimmapparat von der bei Musikinstrumenten geforderten so weit abweicht, daß man es höchst überraschend finden müßte, wenn ein Einfluß auf die Tonhöhe selbst bei einer dünnlippigen Membranpfeife einträte. Es ist nicht ausgeschlossen, daß der im Falsett singende Kehlkopf, wenn er mit einem einfach gebauten glattwandigen Ansatzrohr versehen werden könnte, von diesem beherrscht würde und zwangsmäßig in Tonhöhen schwingen würde, die den Dimensionen des Ansatzrohres entsprächen¹⁾.

Es ist von Interesse, daß, wie ich nachträglich finde, in den hinterlassenen Notizen Meissners²⁾ sich der Plan zur Ausführung derartiger Versuche mit Einführung eines Rohres bis zum Kehlkopf hinab findet, ein praktisch freilich schwer realisierbarer Gedanke.

Akustisch bedeutungslos ist im übrigen das Ansatzrohr beim Menschen keineswegs. Unzweifelhaft ist es von mächtigem Einfluß auf die Klangfarbe. Nichts kennzeichnet das deutlicher, als der Übergang vom reinen zum nasalen Vokal durch Eröffnung der Kommunikation zur Nasenhöhle, ferner die Erzeugung der verschiedenen Vokalklänge bei konstanter Schwingungszahl des Grundtons nur durch Änderung der Gestalt des Ansatzrohres. In letzterer Hinsicht macht sich, wie unten noch näher zu besprechen sein wird, eine auffällige Verschiedenheit in dem Stärkeverhältnis zwischen dem Grundton und anderen an dem Klange beteiligten Tönen bei den einzelnen Vokalen bemerkbar, insbesondere treten, wie Hermann gezeigt hat, bei jedem Vokal-

¹⁾ Der, wie oben erwähnt, von Musehold gelieferte Beweis der Anblasbarkeit ausschlagend durchschlagender Zungen bei Armierung mit einem passend abgestimmten Ansatz ist für die Kehlkopfphysiologie deshalb nicht entscheidend, weil hier von einem abgestimmten Ansatzrohr nicht zu reden ist. — ²⁾ Klangaufnahmen von Blasinstrumenten, eine Grundlage für das Verständnis der menschlichen Stimme, herausgegeben von R. Wachsmuth, Arch. f. d. ges. Physiol. 116, 543, 1907.

klare charakteristische Mundtöne auf, deren Schwingungszahl zur Schwingungszahl des Grundtones keine festen Beziehungen hat. Hierin liegt der bei weitem interessanteste Punkt hinsichtlich der Bedeutung des Ansatzrohres in der menschlichen Stimmphysiologie. An dieser Stelle sei, unter Verweisung auf die nachfolgenden Mitteilungen über Vokaltheorien, nur erwähnt, daß die Mundtöne auch ohne Ertönen der Stimme zu Gehör gebracht werden können, beim Flüstern und beim Perkuttieren der Mundwandungen. Auch wenn beim sogenannten „Aufstoßen“ die Oesophaguswände stimmlippenartig wirken, ertönen klare Vokalklänge und Menschen, denen der Kehlkopf exstirpiert ist, können, wie besonders Gluck gezeigt hat, durch willkürliche Expression von Luft aus dem Magen eine zwar nicht schönklingende, aber durch deutliche Vokalklänge verständliche Sprache erlernen.

XII. Spezielles über die einzelnen Stimmlaute, ihre Einteilung und ihre Erzeugung ¹⁾.

Die Einteilung der Stimmlaute, die ich in der nachstehenden Darstellung zugrunde lege, ergibt sich aus den Übersichtstafeln auf S. 756 u. 769. Ich habe mich dabei (mit einer einzigen Ausnahme: „Lippen“-R) auf die Einordnung der in der Sprache wirklich verwendeten Laute beschränkt, und unter den Sprachlauten wiederum die der deutschen Sprache mit ihren üblichen Buchstabenbezeichnungen in den Vordergrund gestellt. Manche der im folgenden angeführten Laute kommen in der deutschen Sprache, allerdings nur in Dialekten, vor, besitzen aber nur in fremden Sprachen besondere Symbole, wie das *â* des Dänischen, das *ϑ* des Neugriechischen. Auf die in mancher Hinsicht wünschenswerte Heranziehung russischer, arabischer, japanischer usw. Schriftzeichen muß ich begreiflicherweise verzichten.

Zur Erläuterung der Übersichtstafel auf S. 756 sei folgendes angeführt.

Man kann zunächst unterscheiden zwischen Stimmlauten im weiteren und im engeren Sinne. Im weiteren Sinne können wir Stimmlaute alle diejenigen Klänge und Geräusche nennen, die wir mit unserem Stimmapparat — auch diesen im weitesten Sinne genommen — erzeugen können; dazu würden alle nach außen hin auf einige Entfernung hörbaren Geräusche bei Einatmung und Ausatmung gehören, gleichviel ob Kehlkopf, Rachen- und Mundteile dabei aktiv beteiligt sind oder nicht. Als eine weit kleinere und unwichtigere Gruppe von Lauten würde man diejenigen hinzurechnen können, die allein mittels der Mundteile ohne gleichzeitige Beteiligung des Atemstromes erzeugbar sind.

Als Stimmlaute im engeren Sinne wären aus den erwähnten die herauszugreifen, die der Mensch tatsächlich zu jenen Zwecken verwendet, die das eigentliche

¹⁾ Auf diese zum großen Teil in das Gebiet der eigentlichen Linguistik gehörigen Dinge kann ich hier im allgemeinen nur kurz und sehr mit Auswahl eingehen. Mit einiger Ausführlichkeit behandle ich nur die speziell vom physiologischen Standpunkt interessierenden Probleme. Im übrigen verweise ich auf die älteren, zum Teil sehr ausführlichen Arbeiten von Brücke, Grundzüge der Physiologie und Systematik der Sprachlaute für Linguisten und Taubstummenlehrer, Wien 1856 und 1876. Merkel, Physiologie der menschlichen Sprache (physiol. Laetik), Leipzig 1866. Thausing, Das natürliche Lautsystem usw., Leipzig 1863. Von neueren namentlich: Sievers, Grundzüge der Phonetik, 4. Aufl., Leipzig 1893; 5. Aufl. 1901. Viëtor, Elemente der Phonetik, Leipzig 1894. Jespersen, Lehrbuch der Phonetik, Leipzig 1904. (Ausführlicher in dänischer Sprache: Fonetik, Kopenhagen 1897—1899.)

Lauttabelle I.

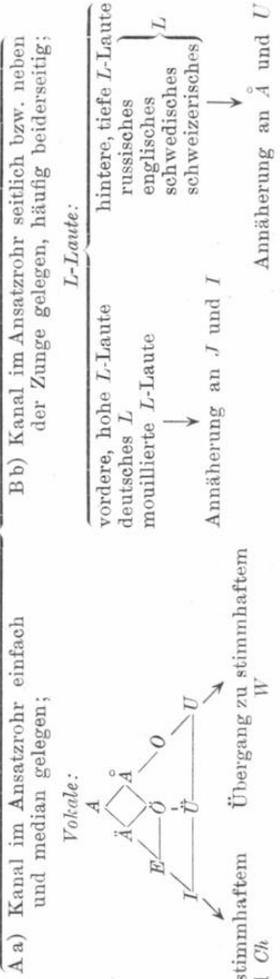
Laute mit Stimmklang (Phonische Laute)

A) Kontinuierliche		B) Diskontinuierliche (Zitterlaute)	
1. Lang aushaltbar, Ansatzrohr offen	2. Kurz aushaltbar, Ansatzrohr geschlossen.	1. Mit Reibegeräusch γ ($r\widehat{sch}$), $r\widehat{s}$, $r\widehat{ic}$, $w\widehat{r}$,	2. Ohne Reibegeräusch
a) Mit Reibe- oder Zischgeräusch neben dem Stimmklang, <i>stimmhafte (phonische) Konsonanten</i>	b) ohne deutliches Reibegeräusch.	a) Die rhythmische Unterbrechung erfolgt im Kehlkopf selbst. <i>Knarrende Vokallaute</i> (Ersatz für Vokal + r)	b) Unterbrechung erfolgt im Ansatzrohr
Das Geräusch entsteht:		Lippen- r^a	Zungen-R Zäpfchen-R
c) zwischen Lippen und Zähnen, stimmhaftes W			
β) zwischen Zangenspitze und Zähnen			
γ) zwischen Zunge und Gaumen			
" vorn	S (Z franz.)		
" mitten	Sch (J ")		
" seitlich	J (bei einigen Personen)		
" hinten	L		
	Ch (für C)		

c) Luft geht durch Nase und Mund die Nase
 β) Luft geht nur durch den Mund
 γ) Luft geht nur durch den Mund

nasalisierte Vokale:
 $\widehat{A}n$ ($\widehat{I}n$)
 $\widehat{O}n$ ($\widehat{U}n$)
 $\widehat{O}n$ ($\widehat{U}n$)
 $\widehat{A}n$ ($\widehat{A}n$)

Resonanten:
M
N
Ng



Wesen und die Bedeutung der Stimme überhaupt ausmachen, nämlich als instinktiver Ausdruck irgendwelcher Affekte oder zur akustischen Einwirkung auf andere Geschöpfe. Den Gegensatz bilden die gewissermaßen zufälligen Stimmläuterungen, bei denen die Schallerzeugung unwesentlich ist.

In den folgenden Erörterungen soll der Ausdruck Stimmlaut nur in dem zweiten engeren Sinne verwandt werden, wo nichts anderes bemerkt ist. Die erwähnte kleine Gruppe von Lauten, die ohne Beteiligung des Atmungsstromes entstehen (Schnalzlaut), fällt dabei von selbst außer Betracht.

Aber auch nicht alle die Laute, die mit Hilfe der Atmungsluft erzeugt werden, sind Stimmlaute im engeren Sinne. Besonders, wenn wir ausschließlich auf die Laute Rücksicht nehmen wollten, die in einer bestimmten Sprache oder einem bestimmten Dialekt vorkommen, würde der Kreis der Stimmlaute, die tatsächlich verwendet werden, ganz wesentlich kleiner werden, als der der überhaupt möglichen Stimmlaute. Eine so weit gehende Beschränkung kann für die physiologisch-phonetische Behandlung der Stimme nicht in Frage kommen, und selbst in der vorliegenden knappen Darstellung müssen wir, wie gesagt, zum mindesten in kurzen Seitenblicken auch die Stimmlaute in Betracht ziehen, die der deutschen Sprache fremd sind. Bei genauerem Zusehen findet man freilich sogleich, daß nicht viele Laute, ja nicht einmal viele Lautkombinationen möglich sind, die nicht in einer dialektischen oder individuellen Unterart dessen, was man deutsche Sprache nennt, häufig vorkämen.

Eine sachgemäße Einteilung oder Gruppierung der Stimmlaute bietet nicht geringe Schwierigkeiten. Einen primitiven Versuch von solcher Einteilung finden wir in dem System, das im Alphabet gegeben ist, und in welchem dann eine weitergehende Gruppierung der einzelnen Laute oder Buchstaben üblich geworden ist, wie sie in den Schulen gelehrt wird. Wir haben da die Gruppen der Vokale und Konsonanten mit ihren verschiedenen Unterabteilungen. Wenngleich diesem Systeme größtenteils brauchbare phonetische Prinzipien zugrunde liegen, ist es doch klar, daß es in eben der Form, in der es in den Schulen gelehrt zu werden pflegt, doch nur bescheidensten Ansprüchen genügen kann und dringend eines Ersatzes bedürfte. Abgesehen davon, daß das übliche Alphabet einfache Stimmlaute neben solche stellt, die die Phonetik als zusammengesetzt rechnet (*Z*, *X*), liegt sein Hauptmangel in der Unvollständigkeit. Es greift aus der Summe der möglichen Stimmlaute eine nicht große Zahl heraus und läßt andere, häufig benutzte Laute unberücksichtigt, wie z. B. das deutsche Alphabet die Laute, die man *ch* und *sch* zu schreiben pflegt. Leider ist eine Abhilfe, zu der sich schwache Ansätze im Ausland finden, bei uns vorläufig kaum zu erwarten.

Für eine Darstellung der Phonetik vom physiologischen Standpunkte aus würden zunächst folgende Arten der Lauteinteilung denkbar und rationell erscheinen: 1. nach dem akustischen Charakter der Laute, also gewissermaßen eine Gruppierung auf physikalischer Basis, und 2. die Einteilung nach der Art der Entstehung der Laute, also eine im engeren Sinne physiologische Einteilung. Obgleich die erstere Art der Einteilung in mancher Hinsicht die wünschenswertere und interessantere wäre, bedarf es doch keines Beweises, daß wir zum mindesten für jetzt noch auf sie verzichten und die Entstehungsart der Laute zugrunde legen müssen. Unsere Kenntnis von dem akustischen Wesen der einzelnen Laute ist noch nicht entwickelt genug, um alle die Laute, die uns subjektiv-akustisch, nach der Art, wie sie klingen, bekannt sind, objektiv akustisch, d. h. nach der

Art des ihnen zugrunde liegenden Schwingungsvorganges, erschöpfend und präzise zu beschreiben.

Dieser Erkenntnis haben sich denn auch die Phonetiker nicht verschlossen und neuerdings findet man die Einteilung der Laute nach ihrer Entstehungsart fast überall durchgeführt. Eine nur scheinbare und unwesentliche Abweichung ist es, wenn einzelne Autoren, wie z. B. Jespersen, den Entstehungsort in den Vordergrund stellen, und zusammenhängend diejenigen Laute besprechen, die mit Hilfe der Lippen oder die mit Hilfe der Zungenspitze usw. gebildet werden. Nicht ganz rationell ist letzteres Verfahren, weil dabei akustisch und genetisch ähnliche Laute in der Besprechung getrennt, andererseits heterogene zusammen behandelt werden. Doch das ist eine Äußerlichkeit. Eine Darstellung, die wie die vorliegende das Physiologische in den Vordergrund stellen und das Philologisch-Phonetische höchstens nebenbei berücksichtigen will, muß sich natürlich ganz streng auf die Besprechung der Entstehungsart der Laute konzentrieren.

Die nächstliegende Unterscheidung ist die in stimmhafte und stimmlose (phonische und aphonische nach Hermann) Laute, bei der das Tönen oder Nichttönen des Kehlkopfes als Kriterium dient. Die stimmhaften Laute fehlen der Flüstersprache. Sie zerfallen in kontinuierliche und in intermittierende stimmhafte Laute, je nachdem der Stimmkanal oberhalb der Stimmritze während deren Ertönen dauernd durchgängig bleibt oder an irgend einer Stelle ein oder mehrere Male geschlossen, der Luftstrom und mit ihm der Stimmklang also unterbrochen wird (*Zitterlaute*¹⁾).

1. Die kontinuierlichen phonischen Laute (ohne merkliche begleitende Geräusche).

Diese zerfallen in zwei deutlich getrennte Gruppen: 1. die Laute, bei denen die aus der Glottis entweichende Luft entweder durch den Mund oder die Nase (oder durch beide Wege zugleich) nach außen entweicht, und der Klang daher so lange ausgehalten werden kann, als der Luftvorrat in der Lunge reicht (Vokale, *L*-Laute und Resonanten), und 2. die Laute, bei denen das Gaumensegel den Weg durch die Nase, und die Zunge bzw. die Lippen den Weg durch den Mund verschließen und infolgedessen die Dauer des Klanges wesentlich beschränkter ist (Purkinjes „Blählaute“). Ich bespreche zunächst die letzteren.

a) Die Blählaute.

Die Bezeichnung Blählaute ist recht treffend, weil sich der teilweise mit nachgiebigen Wänden versehene Raum zwischen Glottis und dem Mundverschluß bläht, indem durch die verengte und tönende Glottis Luft in den Rachen- bzw. Mundraum gepreßt wird. Dies kann natürlich nur so lange geschehen, bis der Druck oberhalb der Glottis gleich dem unterhalb derselben geworden ist. Bei einer bestimmten Stärke des Ertönsens des Kehlkopfes wird dies um so später geschehen, je größer der über der Glottis

¹⁾ L. Hermann (Arch. f. d. ges. Physiol. 83, 1900) unterscheidet unter den phonischen Lauten: Vokale, glatte Halbvokale (*L, M, N*), remittierende Halbvokale (*R*-Laute), ferner phonische Dauergeäuschaute (*W, S, J* mit Stimmklang) und phonische Explosivlaute (*B, D, G*).

abgesperrte Raum ist und je dehnbare dessen Wände sind. Bringt man Gaumen und Zunge in die zur Artikulation des *g* nötige Stellung und läßt jetzt bei Festhaltung dieses Verschlusses die Stimme ertönen, so erhält man denjenigen Blählaut, dessen mögliche Dauer am kürzesten ist; man kann ihn selbst mit leiser Stimme kaum länger als 2 bis 3 Sek. hörbar machen. Der Raum, der hier durch die Phonationsluft gebläht wird, ist sehr klein, er liegt zwischen Glottis einerseits und der zwischen Zunge und Rachen bzw. Gaumen gebildeten Verschußstelle andererseits.

Artikuliert man für *d*, so kommt zu jenem Raum noch der größte Teil des Mundraumes hinzu, und bei der *b*-Stellung der ganze Mundraum bis vorn zu den Lippen.

Die Nasenhöhle ist bei allen diesen drei Blählauten von Mund und Rachen fest abgeschlossen. Hält man die Nasenlöcher zu, schließt den Mund und phoniert nun, so bekommt man weit länger aushaltbare und stärker tönende Blählaute, besonders wenn man durch Einnahme einer Mittelstellung des Gaumensegels Nasen- und Mundhöhle zu einem Blähraum vereinigt.

In der Sprache kommt dieser Laut nicht vor (abnormerweise bei sogenanntem Stockschnupfen mit vollständigem Nasenverschluß). Dagegen sind die ersterwähnten drei Blählaute sehr häufig. Bei Deutschen treten sie allerdings in der gewöhnlichen Sprache, wenn überhaupt, dann so flüchtig auf, daß es besonderer Aufmerksamkeit bedarf, um sie zu bemerken. Fast (nicht ganz) unvermeidlich sind sie aber immer dann, wenn wir eine mit *b*, *d* oder *g* beginnende Silbe besonders deutlich aussprechen und markieren wollen, daß es nicht *p*, *t* oder *k* heißen soll. In den romanischen Sprachen wird von den Blählauten ein viel ausgiebigerer Gebrauch gemacht und es ist ein besonders häufiger Fehler der Germanen, die französisch oder italienisch sprechen wollen, die Blählaute nicht deutlich genug anzuwenden.

In manchen Lehrbüchern steht, man solle im Italienischen vor *b* (am Silbenanfang) ein leises *m*, vor *d* ein *n* erklingen lassen, also etwa statt *bella donna*: (m)*bella* (n)*donna*. Da kurze Blählaute sehr ähnlich wie jene Liquidae klingen, ist es im Einzelfall schwer zu sagen, ob der Blählaut oder die entsprechende Liquida angewandt wurde. Das Einfachere ist jedenfalls der Blählaut, bei dessen Erzeugung gleichzeitig der vordere Mundverschluß und der Rachennasenhöhlenverschluß hergestellt wird. Doch mag es nicht selten vorkommen, daß der letztere Verschluß um einen Moment später vollständig wird, und der Blählaut also mit einem ganz kurzen *m* oder *n* eingeleitet wird.

Im Neugriechischen sind die Schriftzeichen, die wir im Altgriechischen als Mediae sprechen, zu Reibelauten erweicht. Zur Wiedergabe der Media dient daher das Tenuiszeichen mit zugesetztem Resonanten, z. B. *μν* für *b*, *ντ* für *d*.

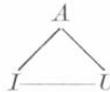
Der Grund, warum wir das prononciert weiche *b* gerade bei freiem Einsatz am Silbenbeginn gern mit dem Blählaut einleiten, liegt in der Schwierigkeit, die halb aktive, halb passive Aufhebung des Mundverschlusses beim *B*, *D* und *G* mit der nötigen Weichheit zu bewirken, wenn nicht das Nachdrängen der Expirationsluft durch Verengung der Glottis zur Phonationsstellung gehemmt wird. Unüberwindlich ist diese Schwierigkeit indessen nicht und, wie mir scheint, sprechen nicht wenige Menschen die Mediae ohne vorherige Blählaute. Einiges weitere hierauf bezügliche s. unten S. 770 sowie in der Arbeit von H. Gutzmann „Über Media und Tenuis“¹⁾.

¹⁾ Med. pädagog. Monatsschr. f. d. ges. Sprachheilk. II, 1901.

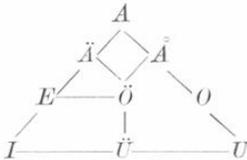
b) Die Vokale.

Die Hauptgruppe der stimmhaften Laute wird von den Lauten gebildet, die man Vokale zu nennen pflegt. Eine bestimmte Definition dessen, was man unter „Vokal“ versteht, dürfte kaum zu geben sein, weil es an einem feststehenden Begriff fehlt. Bei allen Vokalen ertönt die Stimme kontinuierlich bei geöffnetem Munde; ist das Gaumensegel so weit gesenkt, daß der Durchgang zwischen Rachen und Nasenhöhle frei ist, so entstehen die nasalierten Vokale, ist dieser Engpaß durch Hebung des Gaumensegels geschlossen, so entstehen die gewöhnlichen Vokale. Unter denselben Bedingungen kommen aber auch die *L*-Laute zustande, die ja auch, wie weiter unten zu zeigen sein wird, den Vokalen in akustischer Beziehung sehr nahe stehen. Der einzige deutliche Unterschied in genetischer Hinsicht liegt darin, daß bei den Vokalen im engeren Sinne die Luft durch einen median gelegenen Kanal und eine median gelegene Öffnung des Mundes passiert, bei den *L*-Lauten dagegen durch einen seitlich von der Zunge unsymmetrisch gelegenen Kanal entweicht. Der seitliche Kanal ist offenbar enger als selbst der Kanal beim *I*, die Schallstärke und Tragweite des Lautes und damit auch seine Verwendbarkeit als Träger des Silbenaccents beim *L* also vermindert.

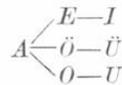
α) Gruppierung der Vokale. Man kann die echten Vokale (also mit Ausschluß der nasalierten und der *L*-Laute) in verschiedener Weise gruppieren oder in einem Diagramm anordnen, so daß die akustische und genetische Verwandtschaft zum Ausdruck kommt. Die bekannteste und wohl zutreffendste Darstellungsweise ist die in Form eines von den „Grundvokalen“ *A I U* gebildeten Dreiecks:



In diesem Schema in seiner einfachsten Form kann man alsdann, dem Vorgange von F. H. du Bois-Reymond¹⁾ folgend, diejenigen anderen Vokale eintragen, für die es in den Kultursprachen Schriftzeichen gibt, und man erhält dann eine Darstellung, die dadurch wirklichen Wert hat, daß man sich auf den die Schriftzeichen verbindenden Linien die sämtlichen überhaupt möglichen Vokalklänge aufgetragen denken kann.



oder in du Bois-Reymonds
Anordnung:



Wie schon eingangs erwähnt, sind die durch besondere Schriftzeichen charakterisierten Laute nur sehr gering an Zahl gegen die unendliche Mannigfaltigkeit der produzierbaren Laute, und jedes der Schriftzeichen versinnbildlicht tatsächlich eine ganze Gruppe von verwandten Lauten. Weder für ein ganzes Volk oder eine Rasse, noch auch nur für ein einzelnes menschliches Individuum

¹⁾ Cadmus oder allgemeine Alphabetik, Berlin 1862.

ist die Art, wie ein bestimmter Vokal ausgesprochen wird, annähernd konstant. Wenn man verschiedene Personen auffordert, etwa den Vokal *A* in möglicher Reinheit, in möglichst gleicher Tonhöhe und Stärke auszusprechen, so klingt das *A* selbst bei annähernd gleichaltrigen Personen derselben Nationalität und Rasse, ja selbst bei Geschwistern so deutlich verschieden, daß man die Personen an dem *A*-Klang erkennen kann. Aber auch das einzelne Individuum spricht das kurze *A* in dem Worte *Acker* mit anderem Klang als das lange in *Adel*, ebenso das *O* in *Otter* anders als in *Oder*. Die später zu besprechenden graphischen Stimmregistrierungen Hermanns bringen diese dem bloßen Ohre schon bei geringer Übung erkennbaren Unterschiede deutlich zur Anschauung. Doch dürfte das Ohr noch überlegen sein.

Die Variationen des *A*-Klanges stellen sich nun für das Ohr dar als Abweichungen nach den Nachbarlauten in dem erwähnten Dreiecksschema, d. h. entweder nach dem $\overset{\circ}{A}$ oder dem $\overset{\circ}{\bar{A}}$ hin; eine dritte Variationsmöglichkeit, die sich in dem Schema nur unter Zuhilfenahme der dritten Dimension veranschaulichen ließe, führt nach dem nasalierten $\overset{\circ}{\bar{A}n}$ hinüber.

Bekanntlich wird von manchen Individuen und von manchen Nationen der mit *A* bezeichnete Laut mit konstanter Abweichung von dem, was die meisten Deutschen als „reines *A*“ bezeichnen würden, gesprochen, und ihnen erscheint nun dieser abweichende Laut als „reines *A*“. Es ist auffallend und interessant, wie schwer es unter Umständen ist, den Klangcharakter einer anderen Nation nachzuahmen; das *A* in einem deutschen Wort, das beispielsweise ein Engländer oder Däne möglichst „deutsch“ auszusprechen sich bemüht, klingt für den Deutschen sehr häufig doch fremdartig.

Die schematische Darstellung in dem Dreiecksschema hat den Sinn, daß von einem Vokal, z. B. dem *A*, zum Nachbarvokal ($\overset{\circ}{A}$ bzw. $\overset{\circ}{\bar{A}}$) eine lückenlose Reihe von Übergangslauten führt, von denen man im Zweifel sein kann, mit welchem der beiden Schriftzeichen man sie wiedergeben soll, und die auch tatsächlich in verschiedenen Sprachen verschieden geschrieben werden.

Für das $\overset{\circ}{\bar{A}}$ fehlt im Deutschen das Schriftzeichen; wo der Laut vorkommt, wird er mit *O* wiedergegeben. Als kurzer Laut kommt das $\overset{\circ}{\bar{A}}$ in der Sprache sehr vieler Deutscher aus allen Landesteilen vor, als langer, ähnlich dem Dänischen $\overset{\circ}{\bar{A}}$ (oder *Aa*) nur in einigen Dialekten, so besonders ausgeprägt im Schwäbischen (viel weniger im Alemannischen) und begreiflicherweise auch in den zum Dänischen hinüberleitenden Dialekten Schleswig-Holsteins. Die Wiedergabe dieses Lautes ist bekanntlich eine besondere Crux der Dialektdichter, ähnlich wie die ebenfalls so häufigen und charakteristischen Nasalvokale.

Vom dänischen $\overset{\circ}{\bar{A}}$ leitet der entsprechende norwegische Sprachlaut, der schon „geschlossener“ ist, zu dem schwedischen hinüber, der dem deutschen langen *O* sehr ähnlich ist, nur etwas offener. Zum *A* andererseits leiten vom dänischen $\overset{\circ}{\bar{A}}$ die im Englischen häufigen (in Deutschland nur dialektisch vorkommenden) Zwischenlaute hinüber (wie im englischen *lav*). Mit Beziehung auf die Bezeichnungen „offenes“ und „geschlossenes“ *O* sei übrigens schon hier daran erinnert, daß die eigentliche Mundöffnung, d. h. die Lücke zwischen den gerundeten Lippen bei beiden Klängen, genau gleich sein kann; beim offenen *O* und beim $\overset{\circ}{\bar{A}}$ öffnet man zwar häufig unwillkürlich die Lippen weiter als beim geschlossenen *O*, doch ist dies keineswegs notwendig.

Die Übergangslaute zwischen *O* und *U* haben wir in der deutschen Sprache in vielen Fällen bei dem kurzen *U*; bei manchen Menschen nähert sich der Klang hier stets dem *O*. Lange Zwischenlaute zwischen *O* und *U* hat u. a. das Schwedische. Hier kommen auch die Zwischenlaute zwischen *U* und $\overset{\circ}{U}$ vor, die

aber auch gewissen deutschen Dialekten (im alemannischen Sprachgebiet) nicht fremd sind.

Übergang zwischen *Ü* und *I* findet sich in langen und kurzen Klängen vielfach; der Übergang zwischen *I* und *E* ganz überwiegend in kurzen Klängen (im Deutschen besonders, wenn mehrere Konsonanten folgen, z. B. in *Birke*). Manche Deutsche sprechen das *I* fast stets mit deutlicher Abweichung nach *E* hin, zuweilen sogar mit *Ä*-ähnlichem Klange. Vom *E* endlich leiten die bekannten in allen Sprachen vorkommenden Zwischenlaute durch *Ä* zum *A* hinüber.

In dieser kontinuierlichen Vokalreihe fehlt das als Klang wohlcharakterisierte und durch ein besonderes Schriftzeichen fixierte *Ö*. Man kann es aber, wie es oben in dem Schema geschah, in das Innere der Dreiecksfigur einsetzen und durch Striche seine akustischen Verwandtschaften andeuten. Nächste Verwandtschaft hat es zweifellos mit dem *E* und dem *Ä*. Man kann leicht eine Reihe von Vokalklängen aussprechen, die vom *E* zum *Ö* kontinuierlich hinüber leiten; man kommt hierbei zum geschlossenen *Ö*, während man vom *Ä* zum offenen *Ö* kommt.

Schon weniger leicht ist die Herstellung der Überleitung vom *Ö* zum *Ü* und bemerkenswerterweise unmöglich zum *O*, welches doch nach der Schreibung als besonders nah verwandt erscheinen sollte.

In der phonetischen Literatur wird häufig von einem sogenannten „unbestimmten Vokal“ gesprochen, der sehr häufig in vielen Sprachen auftreten soll¹⁾. Diese Bezeichnungweise ist, wie schon Brücke²⁾ betont, nicht sonderlich glücklich, da nicht daran zu denken ist, diesen „unbestimmten“ Vokal außerhalb eines Vokalschemas nach Art des oben gegebenen zu suchen. Am häufigsten tritt der mit jenem Namen bezeichnete Laut an Stellen auf, wo in der Schrift das Zeichen *E* steht, doch kann er auch für alle anderen Vokale, die unbetont und kurz sind, eintreten.

Dem Klange nach ist der „unbestimmte“ Vokal in den meisten Fällen ein *Ö*, mit mehr oder weniger großen Abweichungen nach dem *E* oder *Ä* hin. In zahlreichen Fällen kommt auch ein nasaler Beiklang hinzu.

β) Bildung der Vokale. Die Stellung der einzelnen Teile des Stimmorgans bei der Vokalbildung ist von verschiedenen Autoren untersucht und beschrieben worden. Brücke, Merkel und Grützner haben auch in Mediandurchschnitten des Kopfes die Stellungen zu veranschaulichen gesucht; daß sie auch die Position der dem Auge nicht direkt zugänglichen Organe (mit gewissen Ausnahmen³⁾) ziemlich richtig wiedergeben, ist aus den Röntgenphotographien von Barth⁴⁾ und Grunmach⁴⁾ zu entnehmen.

Die wesentlichste Änderung beim Übergang von einem Vokal zum anderen betrifft die Gestalt der Zunge, nächst dem die der Lippen und des

¹⁾ Lepsius, Das linguistische Alphabet, Berlin 1855. — ²⁾ Grundzüge der Physiologie und Systematik der Sprachlaute, Wien 1856. — ³⁾ Das Gaumensegel zeichnet Brücke zutreffenderweise bei allen Vokalen der Pharynxwand anliegend, wenn auch nicht in richtiger Höhenstellung. Merkel dagegen bildet für *A*, *Ae*, *E* und *I* das Gaumensegel von der Rachenwand abgehoben ab und auch Grützner zeichnet beim *I* mit seinem besonders festen Rachen-Nasenabschluß eine Kommunikationsöffnung. — ⁴⁾ Arch. f. Laryngologie 19, Heft 3, 1907. Die Lichtdruckbilder der mit Röntgenstrahlen aufgenommenen Photographien geben die Einzelheiten weniger gut wieder, als die mir von Herrn Barth gezeigten Originalaufnahmen. Um die Konturen der Zunge im Bilde sichtbar zu machen, war über die Zunge in der Medianlinie ein feines Kettchen gelegt, das auf der Photographie schwarz hervortritt. Die Umlaute *Ä*, *Ü*, *Ö* sind in der Grunmachschen Mitteilung irrtümlich als Diphthongen bezeichnet.

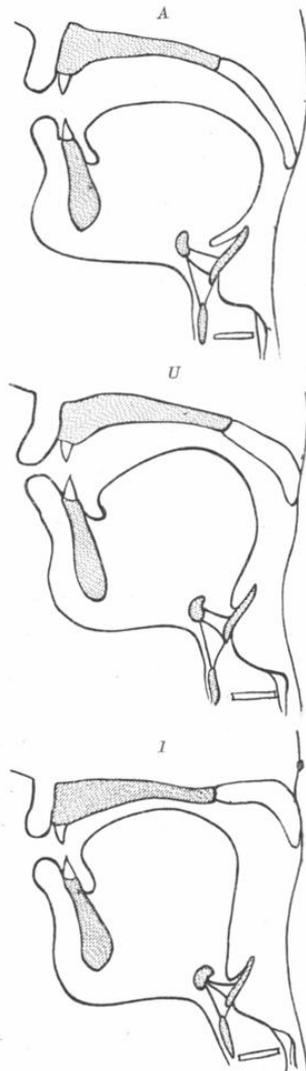
weichen Gaumens. Unbedeutend ist die Änderung der Kehlkopfstellung; eine leichte Hebung beim *I* wird häufig aber nicht regelmäßig gefunden.

Der schärfste Gegensatz besteht zwischen *A* und *I*. Bei letzterem findet sich die bekannte mediane Rinne im Zungenrücken, die von oben her vom harten Gaumen gedeckt wird und somit einen engen, flachen Kanal von etwa 6 cm Länge¹⁾ bildet. Dahinter fällt der Zungenrücken steil ab, mit beträchtlichem Horizontalabstand (3 bis 4 cm) von der hinteren Pharynxwand. Das Gaumensegel ist sehr hochgezogen und schließt fest gegen die Nase ab. So entsteht über dem Kehlkopf ein ziemlich großes, in erster Annäherung zylindrisch zu nennendes Ansatzrohr, an das sich, winkelig nach vorn abgebogen, das enge Endstück ansetzt. Die Lippenstellung ist gleichgültig und wechselnd; jedenfalls spielt der vordere Mundteil keine akustisch bedeutsame Rolle.

Ganz anders bei der Bildung des *A*. Hier bildet die Mundhöhle von vorn bis hinten einen einzigen trichterförmigen Raum. Die Mundöffnung darf nicht zu eng sein, die Zunge ist möglichst tief niedergedrückt und flach nach hinten abgerundet, so daß der Mundraum in den Rachenraum allmählich und ohne scharfe Grenze übergeht. Da die Zungenmasse niedergedrückt ist, muß sie nach hinten ausweichen und dadurch den Pharynx in der Sagittalrichtung gegenüber dem *I* beträchtlich verengen. Das Gaumensegel hängt schlaffer als bei anderen Vokalen und schließt den Zugang zur Nase nur lose und nicht immer vollständig ab (s. S. 726). Immerhin steht es noch beträchtlich höher und weiter nach hinten als beim nasalen *An*.

Die Bildung des *U* erfolgt unter erheblicher Verengung der Mundöffnung häufig zugleich mit Vorschubung der Lippen. Das Ansatzrohr wird hier also in seiner ganzen Länge vom Kehlkopf bis zu den Lippen akustisch ausgenutzt. Die Zunge steht um ein Geringes höher als beim *A*, doch ist der Unterschied, wenn man die Vokale nicht besonders prononciert bildet, sehr un-erheblich. Dagegen hebt sich das Gaumensegel beim *U* stärker und bildet einen festen Abschluß nach oben.

Fig. 128.



Schematische Darstellung der Mundstellungen bei den Vokalen *A, U, I*, modifiziert nach Brücke u. Grätzner.

¹⁾ Helmholtz, Tonempfindungen, 4. Aufl., S. 174.

Fig. 128 a. v. S. gibt in schematischer Darstellung die Lage der einzelnen Stimmorgane bei den Vokalen *AUI* an. Die übrigen Vokale weisen Stellungen auf, die zwischen den hier beschriebenen liegen. Eine Besonderheit des *Ä* ist es, daß bei seiner Bildung der Kanal eine ziemlich gleichmäßige und ansehnliche Weite hat: der Rachenraum ist schon weiter als bei *A*, das Gaumensegel steht schon höher, der Stimmkanal ist noch nicht viel enger als beim *A*. Die bequemste Vokalbildung ist die eines leicht nasalen *Ä*; lassen wir alle Mundteile in der Stellung der ruhigen Atmung und senken den Unterkiefer, so entsteht eben dieser Laut, den auch schon der schreiende Säugling bildet.

c) Die *L*-Laute.

Die den Vokalen sehr nahestehenden *L*-Laute weisen große Verschiedenheiten unter sich auf. Das *L* des Engländers ist von dem des Deutschen oder des Italieners sehr erheblich abweichend. Es gibt ein *L*, besonders im Englischen, das für den Deutschen merkwürdigerweise eine gewisse Verwandtschaft mit *R* hat, obgleich es keineswegs ein Zitterlaut wie dieser ist. Daß dieser scheinbaren Verwandtschaft auch etwas phonetisch-akustisch Gemeinsames noch unbekannter Art zugrunde liegt, geht auch daraus hervor, daß in japanischen Worten, die ein Japaner spricht, für unser deutsches Ohr häufig die Unterscheidung, ob *L* oder *R* vorkommt, unmöglich ist.

Die Schreibweise ostafrikanischer Namen aus dem Sprachgebiet der Suaheli schwankt oft zwischen *L* und *R* für einen bestimmten Laut. Wenn wir *Dar es Salaam* mit deutscher Aussprache von *R* und *L* sprechen, entsprechen beide Laute nicht denjenigen, die im richtigen Kisuaheli angewandt werden. Wenn andererseits in richtigem Kisuaheli *Dar es Salaam* gesprochen wird, passen die deutschen Bezeichnungen *L* und *R* gleich schlecht für die betreffenden Laute und es wird die schriftliche Bezeichnung kaum falscher, wenn man die Buchstaben *L* und *R* vertauscht.

Ein eigenartiger *L*-Laut ist es auch, der im Russischen und in gewissen schweizerischen Dialekten vorkommt. In dem Namen *Pawlow*, wie ihn viele Russen aussprechen, klingt das *L* für den Deutschen wie ein stimmhaftes *W* oder kurzes *U*, ebenso im Dialekt des Kantons Bern das *L* in dem Wort *Bild*.

Die *L*-Laute, die bisher erwähnt wurden, haben das Gemeinsame, daß man bei ihrer Erzeugung eine Vibration im Rachenraum empfindet und daß der Grundton relativ tief ist. Man kann sie daher als *tiefe L-Laute* den *hohen* gegenüberstellen, die die meisten Deutschen und die Romanen anwenden, und bei denen jene Resonanz im Rachen fast ganz fehlt, dagegen Schwingungen im vordersten Mundteil gefühlt werden. Diese Laute leiten zu den mehr *I*- oder *J*artigen „mouillierten“ *L*-Lauten hinüber, die besonders in slawischen Sprachen vorkommen.

Grützner meint (l. c. S. 203), das deutsche *L* stände dem *Ä* am nächsten. Das entspricht aber weder meinem subjektiven Eindruck, noch den analytischen Untersuchungen Hermanns. Hinsichtlich der Angabe des *U*-ähnlichen Klanges des russischen *L* stimme ich mit Grützner überein.

L kann auch flüsternd erzeugt werden. Was die Bildung des *L* betrifft, so liegt die Angabe von Grützner vor, daß er bei Anwendung seiner Karminmethode (s. u.) die Zunge in der Mitte und an den Rändern dem Gaumen anliegend fand, während rechts und links, etwa in der Gegend des ersten Praemolaren, enge Lücken für den Luftaustritt bleiben. Für mich

trifft das nicht zu, es tritt vielmehr die Luft fast stets nur auf einer Seite, häufiger links wie rechts, aus. Dasselbe gilt für viele andere, wie z. B. Jespersen¹⁾ angibt, dem ich auch darin zustimme, daß das bilaterale und das unilaterale *L* akustisch nicht zu unterscheiden sind.

Bezüglich der zahlreichen anders klingenden *L*-Arten muß auf die Lehrbücher der Phonetik verwiesen werden.

d) Die nasalierten Vokale.

In keiner der Kultursprachen gibt es besondere Schriftzeichen für die so deutlich von den eigentlichen Vokalen abgegrenzten Nasalvokale. Dabei ist ihre Anwendung auch im Deutschen keineswegs selten; in besonders ausgeprägter Form finden sich ausgehaltene Nasalvokale in schwäbischen Dialekten, in anderen deutschen Dialekten mehr nur als kurze Laute. Diejenigen Vokale, die überhaupt nasaliert werden können, werden aber auch fast von jedem Deutschen nasal gesprochen, sobald nach dem Vokal ein Resonant (*M*, *N*, *Ng*) folgt, der zur gleichen Silbe gehört. Bemerkenswert ist, daß die verschiedenen Vokale sehr ungleich leicht nasaliert werden können, was mit dem Mechanismus des Nasalierens — Senkung des Gaumensegels — zusammenhängt. *A* und *Ä* gehen am leichtesten in den Nasallaut über, nächst dem *Ä* und *E*, sehr schwer nur *I*, *O* und *U*. Das französische *Ôn* ist eigentlich ein nasaliertes *Ä*. Das geschlossene *O*, sowie das *U* und *I* geben beim Versuch, sie zu nasalisieren einen Klang, der „näselnd“ klingt, also eine andere Färbung hat, als der volle Klang des *Än* und *Äñ*. Bei *U* und *I* ist der Gaumensegelschluß gegen die Rachenwand hin so fest und so charakteristisch für die Bildung dieser Laute, daß diese bei Senkung des Segels ihre Klangfarbe viel mehr ändern als der Vokal *A*.

e) Die Resonanten.

M ist derjenige Stimmlaut, zu dessen Erzeugung die Stimmwerkzeuge am wenigsten abweichend von der Einstellung für ruhige Atmung mit geschlossenem Munde eingestellt zu werden brauchen. Die Zunge liegt untätig im Munde, das Gaumensegel hängt schlaff herab und nur die Stimm Lippen müssen in Phonationsstellung gebracht werden. Diese bequemste Art zu phonieren wenden wir an, wenn wir leise vor uns hinsummen, und zu träge sind, die Mund- und Zungenstellung zu ändern zur Erzeugung eines Vokalklanges. Etwas mehr Bemühung verlangt das *N*, noch mehr das *Ng*. Da die Bequemlichkeit als mächtiger Faktor auf die Art und Weise unserer Lautbildung einwirkt, wenden wir in der Umgangssprache die Resonanten gern als Ersatz für umständlicher zu bildende Laute an, besonders in der Endsilbe *en*. Wir sprechen meistens statt *haben: habm*, statt *baden: badn*, statt *sagen: sagn̄*. Nur für unbetonte Silben gilt diese Tendenz der Lautverschiebung, für betonte Silben legen wir in keiner Kultursprache den Ton auf die nicht genügend vollklingenden Resonanten. Kleine Kinder, die zu sprechen anfangen, legen dagegen oft in einem Lautkomplex den Ton auf das bequeme *M*. Dasselbe geschieht in afrikanischen Sprachen, z. B. im Kisuaheli: *mtu* der Mensch, *mtke* die Frau.

¹⁾ Lehrbuch der Phonetik, deutsch von David sen, Leipzig und Berlin (Trübner) 1904, S. 41.

Die drei Laute M , N , \widehat{Ng} , als Dauerlaute ausgehalten, klingen einander so ähnlich, daß sie kaum zu unterscheiden sind. Im Beginn des Ertönens sind sie dagegen sehr deutlich verschieden, und ihre Vertauschung in der Sprache würde viele Worte ganz unverständlich machen. Die Unterscheidbarkeit beruht auf der akustischen Eigenart des Geräusches, das bei der plötzlichen Öffnung der Glottis entsteht und besonders deutlich hervortritt, wenn man M , N oder \widehat{Ng} in Flüstersprache scharf unterscheiden will.

Wenn auch bei den Resonanten die Luft durch die Nase entweicht, so ist doch die Resonanz des Nasenraumes gegenüber der des Rachenraumes von sehr geringer Bedeutung, wie Saenger¹⁾ am klarsten dadurch zeigte, daß eine Patientin mit Verwachsung zwischen Gaumensegel und Rachenwand die Resonanten sprechen konnte, wenn sie ein Röhrchen durch den Mund bis hinter die Artikulationsstelle (hinter die Lippen bei M , hinter den Zungen-
gaumenverschluß bei N) einführte, so daß die Luft entweichen konnte.

Daß Czermaks²⁾ Patientin, die an derselben Verwachsung litt, M und N , nicht aber Ng sprechen konnte, beruht meines Erachtens auf dem bei ersteren Resonanten größeren Blähraum im Munde, in den eine Zeitlang Luft eingetrieben werden kann, so daß M bzw. N hörbar werden können; natürlich sind sie aber weit kürzer als im normalen Zustande aushaltbar. Bei Ng ist der Blähraum zu klein, es kommt nicht zum deutlichen Erklängen des Resonanten. Ich halte es demnach für nicht nötig, mit Grützner (l. c. S. 198) für Ng Mitresonanz der Nasenluft, für M und N Nichtbeteiligung dieser Resonanz anzunehmen.

Zwaardemaker³⁾ will übrigens Saengers Angabe bezüglich der Bedeutungslosigkeit der Nasenresonanz für die Resonanten nicht gelten lassen, behauptet vielmehr eine deutliche Abhängigkeit des Klanges von der Öffnung des Nasenraumes. Daß die Resonanten auch ohne Beteiligung der Nase entstehen können, hat Saenger indessen zur Evidenz erwiesen.

2. Die kontinuierlichen Klänge mit deutlichem begleitendem Geräusch (phonische Konsonanten).

Mit dem Ausdruck „stimmhafte Konsonanten“ oder „phonische Konsonanten“ bezeichnet man eine Anzahl von Reibe- und Zischlauten, bei deren Bildung die Stimmlippen in Phonationsstellung stehen: W , S (französisches Z), Th (englisch), Sch (französisches J), Ch (spanisches J). Auch das deutsche J (Jot) und L können mit starkem Reibegeräusch gesprochen werden. W ist in Verbindung mit nichtgeflüsterten Vokalen stets stimmhaft, Th , S , Sch und Ch können auch stimmlos gesprochen werden.

Tonhöhe und Klangfarbe des Stimmklanges kann bei allen diesen stimmhaften Konsonanten wechseln, doch nicht in dem Umfang wie bei Vokalen, da die für die Klangfarbe oft mitbestimmende Weite des Stimmkanals bei den Konsonanten zum Zweck der Erzeugung des Geräusches an bestimmten Stellen sehr eingeschränkt ist. So nähert sich die Klangfarbe bei W , Z (französisch) usw. am ehesten der der Vokale mit besonders vorn verengtem Kanal (U , $Ü$, $Ö$, O) an, niemals dem A , $Ä$ oder E . Die größte Ähnlichkeit aber besitzt sie nicht mit einem Vokalklang, sondern meistens mit dem M -Klang, da die Mundöffnung z. B. bei W , Th , S so eng ist, daß sie für die Abstimmung

¹⁾ Grundzüge der Mechanik der Konsonantbildung. Festschrift z. Feier des 50jährigen Bestehens der Med. Ges. zu Magdeburg, 1898. — ²⁾ Moleschotts Untersuchung. z. Naturk. 5, 1, 1858. — ³⁾ Nederl. Tijdschr. Geneesk., 1898.

des resonierenden Mundraumes praktisch fast als geschlossen gelten kann. Mit den Resonanten teilen diese Konsonanten auch die geringe Tragweite und Fülle, weshalb sie sehr selten zu Trägern des Silbenaccents werden. Man kann zwar Worte wie *Wrede* mit Ton auf dem *W* sprechen, doch ist es wenigstens in den germanischen Sprachstämmen meines Wissens nirgends üblich. *W* läßt sich auch mit leicht nasalem Klang sprechen.

3. Die diskontinuierlichen Stimmlaute (Zitterlaute).

Die mit dem Buchstaben *R* wiedergegebenen Zitterlaute sind nicht die einzigen diskontinuierlichen Stimmlaute, die erzeugbar sind. Eine rhythmische Unterbrechung des Schalles kann erfolgen: im Kehlkopf, zwischen weichem Gaumen und Zunge, zwischen hartem Gaumen und Zunge und an den Lippen. Der letzte der vier Laute, ein Schnurren mit etwa 30 Schwingungen pro Sekunde (Donders¹⁾ wird sprachlich nicht verwendet, der erste, das sogenannte Kehlkopf-*R*, ein knarrender Vokal, dialektisch als Ersatz für einen Vokal + *R*, so z. B. in plattdeutschen Dialekten in Worten wie *Káarl* (= Karl), wobei das *R* in den Diphthong gewissermaßen hineingezogen wird. Andeutungen davon finden sich bei vielen Engländern und Deutschen, die in der Umgangssprache überhaupt kein eigentliches *R* bilden, sondern dieses entweder durch den erwähnten knarrenden Vokal oder durch einen dem hinteren *Ch* ähnlichen Reibelaut ersetzen. Diesen letzteren bilden die Dänen besonders scharf.

Der Streit darüber, welches der beiden *R* eigentlich das „richtige“ sei, das uvulare oder das linguale, ist müßig, da die Entscheidung hier natürlich nur nach dem Majoritätsprinzip erfolgen könnte, nach dem wir z. B. das lispelnde *S* (Ersatz durch *Th*) als abnorm bezeichnen. Bezüglich des *R* überwiegt aber keine der beiden Bildungsarten so beträchtlich, daß danach entschieden werden könnte. Räumlich verbreiteter ist in Deutschland das uvulare *R*, während das Zungen-spieten-*R* als „dramatisches *R*“ in der gewählten Sprache bevorzugt wird.

Die Entstehung des uvularen *R* kann man bei vielen Menschen leicht beobachten; die Zunge bildet eine mediane Rinne, in die sich das Zäpfchen legt, das nun beim Ertönen der Stimme in schwingende Bewegung kommt und den engen Zugang zum Rachenraum abwechselnd öffnet und schließt, während zu beiden Seiten die hochgewölbte Zunge und das herabgezogene Gaumensegel dauernd abschließen. Verglichen mit einer Zunge in einer Pfeife schwingt das Zäpfchen ausschlagend aufschlagend. Es ist eine passive Ventilsprengung²⁾, bedingt durch den Luftdruck. Die Gaumen- und Uvulamuskulatur wirkt dabei nur insofern mit, als durch mehr oder weniger tiefes Niederdrücken des Gaumens die Länge des schwingungsfähigen Teiles und damit die Frequenz der Erzitterungen verändert wird. Die Frequenz schwankt bei mir etwa zwischen 10 und 16 pro Sekunde, während Hermann³⁾ hauptsächlich Zahlen zwischen 30 und 40 angibt. Bei der beträchtlichen individuellen Verschiedenheit der Länge des Zäpfchens klingt auch das *R* sehr verschieden. Spricht man das *R* zwischen zwei Vokalen, so pflegt man, wenn

¹⁾ Over de tongwerktuigen van het stem en spraakorgan, Nederl. Arch. 1 (1876).

— ²⁾ Vgl. hierzu Zwaardemaker, Het R-register, Ned. Tijdsch. Geneesk. 1898. —

³⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 83, 12, 1901.

man das *R* nicht besonders hervorheben will, es nur zu zwei bis drei Schwingungen kommen zu lassen (van Kempelen), bei Doppel-*R* zu etwas mehr.

Bei der so außerordentlich häufigen unvollkommenen Bildung des Uvula-*R* schwingt das Zäpfchen entweder überhaupt nicht, und es kommt dann nur zu einem Reibelaut, ähnlich dem hinteren *Ch* oder es kommt zu einigen wenigen nur angedeuteten Schlägen, offenbar mit unvollkommenen Schluß und infolgedessen zu einem begleitenden Reibelaut. Daß man trotzdem selbst in unbekanntem Worten, die eine andere Person ausspricht, meistens dem *R*-Surrogat anhört, was es bedeuten soll, beruht darauf, daß die Gestalt des Resonanzraumes und damit auch der Mundton für *R* hinreichend charakteristisch und von der des *Ch* verschieden ist (s. unten S. 791).

Das Zungen-*R* geht weit weniger leicht in einen solchen rudimentären Laut über, schwankt aber in seiner Entstehungsweise bei verschiedenen Personen ebenfalls sehr. Das Vibrierende ist die Zungenspitze, die dabei gegen den harten Gaumen, den Alveolarfortsatz oder die Schneidezähne schlägt. Die Schwingungsfrequenz ist nach Hermanns Feststellung eher geringer als beim uvularen *R*, steigt übrigens bei forciertem *R*. Donders (l. c.), der die Schwingungszahlen zuerst graphisch bestimmte, fand, wenn er den *R*-Laut mit einem Phonautographen registrierte, ein periodisches An- und Abschwellen der Schwingungsgröße, also kein völliges Erlöschen des Stimmklanges. Der Kehlkopf tönt weiter auch während der Periode absoluten Mundschlusses. Wenn gelegentlich in Kurven eine anscheinend vollkommene Intermittenz gefunden wird (Hermann), so beweist das nicht ein völliges Erlöschen des Klanges.

Der Luftverbrauch bei der Bildung des *R* ist relativ gering, man kann daher bei geschlossenem Munde das uvulare *R* etwas länger aushalten als den Blählaut vor *B*, der mit jenem vergleichbar ist. Der Weg durch die Nase ist natürlich verschlossen, durch Hochziehung der oberen Teile des Velum und durch den Passavantischen Wulst. Wegen des geringen Luftaustrittes ist es auch möglich, bei der Bildung des Zitterlautes den Mund im vorderen Teile stark zu verengern, so daß die charakteristischen Zisch- und Reibegeräusche *F*, *W*, *S* und *Sch* gleichzeitig ertönen, und Kombinationen entstehen, wie sie in den slawischen Sprachen benutzt werden, zum Beispiel in dem tschechischen *ř*. Auch der Deutsche zieht übrigens zuweilen Zitter- und Reibelaut ineinander, z. B. bei Worten wie Wrangel. *W* und *r* können hierbei getrennt werden, es kann aber das Vibrieren des Zäpfchens schon während des *W* beginnen.

Eine eigenartige Klasse von Lauten steht mit den *R*-Lauten im linguistischen Zusammenhang, obgleich sie ihnen akustisch eigentlich sehr fern stehen. Wer, wie Verfasser, das Zungen-*R* nicht zu bilden vermag, kann in schneller Wortfolge das Zungen-*R* einigermaßen nachahmen durch einen einzelnen Schlag mit der Zungenspitze, die zuvor gegen den harten Gaumen gestemmt wurde und dann schnell nach vorn heruntergeklappt wird. Der entstehende Laut ist nach der Beschaffenheit des Klangraumes im Mund dem *R* und dem tiefen *L* verwandt, seiner Entstehung nach aber auch dem *D* verwandt, so daß sich in ihm die in deutscher klarer Aussprache so sehr verschiedenen drei Sprachlaute bewähren. Es ist der Laut, der im Japanischen für unser *L* oder *R* häufig substituiert wird, und der auch in vielen afrikanischen Sprachen *L* und *R* vertritt. Er ist auch mit dem schwedischen sogenannten „dicken *L*“ verwandt.

4. Die aphonischen Laute.

Über diese Laute, die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt sind, sei hier nur das Folgende gesagt. Sie zerfallen in die aphonischen Dauergeräuschlaute und die Explosivlaute.

Lauttabelle II. Aphonische Konsonanten:

Dauergeräusche.		Explosivgeräusche.	
Hauchlaute:		(Laryngealer Explosivlaut)	
<i>H</i> , hinteres und vorderes <i>Ch</i> , <i>J</i> (span.).		Gutturaler	„ <i>G K</i> ,
Reibe- und Zischlaute:		Lingualer	„ <i>D T</i> ,
<i>(W)</i> , <i>F</i> , <i>Th</i> (englisch), <i>S</i> , <i>Sch</i> .		Labialer	„ <i>B P</i> ,
Seitlicher Reibelaut:		(Pharyngonasaler	„).
<i>L</i>			
Geflüsterte {			
Vokale,			
Nasalvokale,			
Resonanten.			
Intermittierende Geräusche:			
<i>R</i> , <i>R̂s</i> , <i>R̂sch</i> , <i>R̂w</i>			

a) Die aphonischen Dauergeräuschlaute.

Die Geräusche definierte Helmholtz¹⁾ im Gegensatz zu den aus schnellen periodischen Bewegungen entstehenden Empfindungen als Schallempfindungen auf Grund nichtperiodischer Bewegungen. Diese Definition entspricht nicht der allgemeinen Auffassung. Einen zischenden, rasselnden oder hauchenden Laut nennen wir ein Geräusch, auch wenn seine Tonhöhe nicht unregelmäßige Schwankungen aufweist, wie es Helmholtz von einem Geräusch verlangte. Ich würde als charakteristisch für das Geräusch das sehr starke Zurücktreten des Grundtones, überhaupt das Fehlen einer leicht bestimmbareren Tonhöhe bezeichnen, gleichviel ob der Schwingungsvorgang periodisch ist oder nicht. Das Zischen ausströmenden Dampfes, das Rauschen eines Wasserfalles kann so gleichmäßig sein, daß man an der regelmäßigen Periodik nicht zweifeln kann. Trotzdem nennt man die Schalleindrücke Geräusche, ebenso wie die Dauergeräusch-Konsonanten *S*, *Sch* und *F*, für die Hermann die Periodik klar erwiesen hat. Es wäre gezwungen, wollte man diese Laute ihrer Periodik wegen unter die Klänge rechnen, während man ihnen eine für das Ohr erkennbare bestimmte Tonhöhe nicht zuschreiben kann. Auf das akustische Wesen dieser Laute wird weiter unten noch einzugehen sein, hier möchte ich nur motivieren, daß ich für sie die Bezeichnung Geräusch in Anspruch nehme, wie übrigens auch für die geflüsterten Vokallaute.

Die Zisch- oder Reibelaute *F*, *Th*, *S*, *Sch* lassen sich durch Veränderung der Mundstellung in lückenloser Reihe ineinander überführen, da sie auf gleiche Weise, durch Erzeugung einer hochgradigen Enge gebildet werden. Ähnlich wie der aus enger Öffnung tretende Dampfstrahl bei seiner plötzlichen Entspannung Luftwirbel und dadurch schnelle Schwingungen erzeugt, tut

¹⁾ Die Lehre von den Tonempfindungen, 4. Aufl., S. 16. Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn, 1877.

es auch die Expirationsluft, die beim *F* unter starkem, beim *V* oder stimmlosen *W* unter geringerem Druck die Lippenenge passiert. Es ist ganz derselbe Vorgang, wie wenn man durch ein enges Röhrchen bläst. Bedeutend geändert und verschärft wird das Geräusch, wenn der Luftstrom auf eine glatte, im Bereich der Luftwirbel scharfkantig begrenzte Fläche trifft, wie bei der Erzeugung des *S*. Hierbei wird im allgemeinen ein Luftstrom zwischen Zunge und Gaumen durch einen engen Kanal gepreßt und gegen die oberen Schneidezähne getrieben. Dadurch werden die Wirbelbewegungen modifiziert und verstärkt. Außerdem wird der kleine Hohlraum zwischen den Zähnen und der Zungen-Gaumenenge seinen hohen Eigenton dem Gesamtgeräusch beimischen. Das Vorhandensein solcher hoher Teiltöne läßt sich nach Hermanns Verfahren (s. u.) direkt nachweisen.

Die Bildung des Resonanzraumes im vorderen Teile des Mundes hat Grützner (l. c. S. 204) untersucht, indem er die Zunge mit Karmin oder Tusche bestrich, dann den betreffenden Laut bildete und nun feststellte, wo die Farbe am Mundhöhlendach abgedrückt war. Bei *S* legt sich der Zungenrand seitlich an den Alveolarfortsatz und die Zähne, nur im Bereich der oberen mittleren Schneidezähne bleibt ein Engpaß offen. Zwischen der Zungenspitze und der Fläche der einander genäherten Zähne liegt der kleine Schallraum. Enger ist der Kanal und noch kleiner der Resonanzraum beim scharfen *Th* oder *ϑ* der Neugriechen, während beim *Sch* die Enge weiter zurückliegt, nach Grützner etwa in der Verbindungslinie der ersten Molaren. Die Zunge liegt rechts und links breit dem Gaumen an und läßt in der Mitte den Kanal frei (bei mir liegt er in der Regel einseitig, hart neben dem Alveolarfortsatz). Der Schallraum bis zur Zahnreihe ist beträchtlich größer als beim *S*, das Geräusch klingt darum viel voller; auch klingt es „tiefer“ als beim *S*, obgleich eine charakteristische Tonhöhe nicht ohne Willkür herausgehört werden kann.

b) Die Explosivlaute.

Hermann unterscheidet, wie oben bemerkt, phonische Explosivlaute (*B, D, G*) von den aphonischen (*P, T, K*), eine Unterscheidung, die mir nicht richtig erscheint, da das Erklingen des Blählautes vor *B, D, G* nur eine Erleichterung für die richtige Erzeugung der „Media“ darstellt, nicht aber Bedingung dafür ist. Eine vollkommen richtige von der Tenuis scharf unterscheidbare Media kann ohne Blählaut gesprochen werden. Es gibt wichtigere Unterscheidungsmerkmale, wegen deren ich auf die phonetischen Werke, z. B. Sievers und den erwähnten gut orientierenden Artikel von Gutzmann „Über Media und Tenuis“ verweise.

Die Media ohne Blählaut wird im deutschen Sprachbereich besonders in Süddeutschland gesprochen; wenn manche norddeutsche Autoren angeben, die Unterscheidung zwischen Media und Tenuis sei in Süddeutschland unvollkommener, so kann ich dem nicht zustimmen, finde es vielmehr sachlich richtiger (wenn auch im Ausdruck nicht glücklich) wenn Brücke sagt, die Mediae (wie übrigens auch die Reibelaute *W, S, J*) würden in Süddeutschland und Österreich „mit Flüsterstimme“ gesprochen. Dadurch erscheint der süddeutsche Laut dem Norddeutschen ähnlich der Tenuis, er kann ihn nicht gut nachahmen; die Media *G* kann von den Norddeutschen östlich der Elbe und den Sachsen nur ein kleiner Teil ohne Mühe sprechen, die meisten erweichen den Laut zu einem *J* oder (wie in einzelnen Teilen

Ostpreußens) zu einem ganz weichen Kehlhauchlaut, ähnlich dem spanischen *J* oder sie verhärteten ihn zu einer halben Tenuis, oder endlich sie bilden einen deutlichen Blählaut davon. Der Süddeutsche begnügt sich mit dem akustisch feineren Unterschied, der Norddeutsche legt mehr Wert auf die auch bei minder feinem Sprachgehör wirksame Scheidung der Laute.

Über die Art der Aufhebung des Mundverschlusses bei den Explosivlauten ist einiges vom physiologischen Standpunkt wichtige schon oben gesagt worden. Hier möge noch erwähnt werden, daß den Explosivlauten ähnliche und für sie substituierbare Laute auch am Schluß eines Vokals angehängt werden können, ohne daß ein Luftdurchbruch nach außen stattfindet. Schließen wir nach dem Vokal schnell die betreffende Enge im Stimmkanal, so hört man deutlich z. B. *ap, at, ak*, bei etwas anderer Zungenstellung auch *ab, ad, ag*. Es entsteht ein Knall mit charakteristischem Klang, die im Mund gespannte Luft entweicht fühlbar, aber meist nicht hörbar, nach innen, in die tieferen Teile des Stimmkanals.

Ein Explosivlaut, für den wir keine Buchstabenbezeichnung haben und der in der Tabelle S. 769 als pharyngonasaler bezeichnet ist, entsteht bei aktiv-passiver Verschluslösung zwischen Gaumensegel und Pharynxwand. Man hört diesen Laut öfters isoliert gebildet bei Personen mit chronischem Schnupfen. Als üble Sprachgewohnheit findet man ihn häufig als Ersatz für *K* vor *N*, in Worten wie *Knochen*.

5. Die gegenseitige Beeinflussung der Stimmlaute.

Unmittelbar aufeinanderfolgende Laute beeinflussen sich in der Sprache häufig sehr merklich. Alle Stimmlaute haben ja eine ziemlich große Schwankungsbreite, innerhalb deren sie selbst beim Individuum variieren. Welche der möglichen Formen im einzelnen zur Anwendung kommen, hängt größtenteils von der Art der benachbarten Laute ab. In vielen Fällen ist hierbei die Bequemlichkeit maßgebend; man bringt z. B. bei Bildung eines aphonischen Dauergeräusches wie *F* oder *Ss* oder eines Explosivlautes diejenigen Mundteile, deren Gestalt nicht durch die Bildung jenes Geräusches in ganz bestimmter Weise festgelegt ist, häufig schon während der Konsonantbildung in die Stellung, die für den nachfolgenden Vokal zweckmäßig ist. Will man z. B. die beiden Silben *ti* und *tu* deutlich markiert sprechen, so schiebt man leicht bei *tu* die Lippen schon vor Bildung des *t* vor, wie es für deutliches *u* zu geschehen pflegt. Diese sogenannte Labialisierung der Konsonanten vor *u* lassen die Dänen besonders deutlich erkennen; sie ist nicht nur sichtbar, sondern äußert sich auch in akustischen Unterschieden.

In der Lautgruppe des *Sch*, und mehr noch in der des *Ch* ist die Einwirkung benachbarter Vokale sehr ausgeprägt. Die meisten Deutschsprechenden bilden das *Ch* vor und nach *I* „vorn“, vor und nach *A, O* usw. aber „hinten“, und die Abweichung von dieser Regel bei vielen Schweizer-Deutschen, die auch bei *ich* und *chi* das *ch* hinten und tief sprechen, ist nur dadurch möglich, daß sie auch das *I* anders, tiefer, sprechen. Mit dem *I* des Reichsdeutschen läßt sich das tiefe *Ch* überhaupt nicht direkt verbinden, sondern wenn der Vokal nachfolgt, entsteht zwischen *Ch* und *I* eine kurze Pause, im um-

gekehrten Fall wird an das *I* ein zum *Ch* hinüberleitender tieferer, *A*-ähnlicher Vokal angeschlossen.

Hermann¹⁾ sagt, das vordere *Ch* scheine ihm akustisch mit geflüstertem *I* identisch. Das finde ich sehr treffend. Wenn man trotzdem nicht leicht beide Laute verwechselt, so kommt das daher, daß man das *Ch* mit anderem Einsatz zu beginnen pflegt.

Auch das *R* ist in seinem Klang ziemlich anpassungsfähig. (Vgl. hierzu unten S. 790.)

Zahlreich sind die Fälle, in denen ein Stimmlaut sich während seines Erklings ändert, um die bequeme Überleitung zum nächsten Laut zu ermöglichen; das ist namentlich bei den Vokalen in den Diphthongen der Fall, hier springt nicht etwa der eine Vokal plötzlich in den anderen über, sondern dazwischen liegen Übergangslaute, wie sie sich aus dem oberen mitgeteilten Diagramm des Vokalsystems ergeben.

Unbesprochen bleiben hier die Lautverschiebungen, die in dem Ersatz eines Sprachlautes durch einen anderen bestehen; erwähnt sei nur, daß auch hierbei meistens Ersparnis an Bewegungen der Mundteile das leitende Prinzip darstellt. Hierher gehört z. B. der oben erwähnte Ersatz des *K* vor *N* durch den pharyngonasalen Explosivlaut.

XIII. Akustische Analyse der Stimmlaute.

1. Historisches über Vokaltheorien.

Die ersten Versuche, die Eigenart der einzelnen Vokalklänge verständlich zu machen, laufen darauf hinaus, für jeden Vokal eine charakteristische Tonhöhe festzustellen. Reyher, Hellwag, v. Kempelen, Kratzenstein u. a. weisen darauf hin, daß die verschiedenen Vokale, auch wenn sie auf demselben Ton gesungen werden, doch den Eindruck verschiedener Tonhöhe machen. Im einzelnen freilich gehen die Angaben auseinander, und nur darin sind alle Autoren einig, daß dem *I* ein hoher Stimmklang eigen ist. Näheres über diese ältere Literatur vergleiche bei Grützner in Hermanns Handbuch der Physiologie I, 170 ff.

Schon die genannten Autoren hatten den Wunsch, Vokale künstlich nachzuahmen. Bei Willis²⁾, dessen Arbeit einen bedeutenden Fortschritt darstellt, tritt dieses Bestreben ebenfalls hervor. Willis armierte Zungenpfeifen mit Ansatzröhren verschiedener Länge, um bestimmte Obertöne zu verstärken. Die Röhren mußten für die Reihe der Vokale *U O A E I* immer kürzer gewählt werden und gaben die in der Tabelle auf nebenstehender Seite angegebenen Töne.

In weniger befriedigender, aber theoretisch noch interessanterer Weise erhielt Willis auch vokalähnliche Klänge, wenn er an ein rotierendes Zahnrad einen federnden Stahlstreifen andrückte, dessen freies Ende natürlich grobe Schwingungen, entsprechend der Zahl der in der Zeiteinheit vorbei-

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 83, 25, 1901. — ²⁾ Ann. d. Phys. 24, 397, 1832 u. Transact. Cambridge Phil. Soc. 3, 231.

Tabelle 1 (nach Willis).

Vokal	Wie im Worte	Tonhöhe
<i>o</i>	no	c^2
<i>ā</i>	nought	es^2
"	paw	g^2
<i>a</i>	part	des^2
"	paa	f^3
<i>e</i>	pay	d^4
"	pet	c^5
<i>i</i>	see	g^5

passierenden Zähne ausführte. Außerdem aber konnte die Feder noch die durch ihre eigene Beschaffenheit bestimmten Eigenschwingen ausführen, mit um so höherer Schwingungszahl, je kürzer der frei schwingende Teil *ceteris paribus* war. Zu dem kontinuierlichen Zahnradton tritt also ein in der Periode des Zahnradtones intermittierender, im allgemeinen wesentlich höherer Federton. Letzterer ist beim *U* relativ tief, steigt dann bis zum *I* beträchtlich. Dieser Zusammenklang der beiden Töne bedingt nach Willis den Vokalcharakter. Die Notwendigkeit, daß der Federton ein harmonischer Oberton des Zahnradtones sei, liegt, wie ersichtlich, nicht vor. In der Willisschen Auffassung haben wir somit die Hermannsche Formantentheorie schon in ihrem Kern vor uns, und Willis scheint mir der Wahrheit näher gekommen zu sein als Wheatstone¹⁾, der in seiner Kritik der Willisschen Versuche die Anschauung vertrat, daß durch Resonanz in der Mundhöhle ein für den Vokal charakteristischer Oberton verstärkt werde und daß das starke Hervortreten eines solchen Obertones das Wesen des Vokalklanges bedinge. Hier haben wir den Grundgedanken vor uns, den Helmholtz später zu einer Theorie ausbaute, unter Übernahme der, wie man jetzt annimmt, irrigen Voraussetzung, daß der charakteristische Vokalton ein harmonischer Ton des Grundtones sein müsse. Andererseits hat Wheatstone das Verdienst, auf die Abstimmung der Mundhöhle als Resonator für bestimmte Töne zuerst nachdrücklich hingewiesen zu haben.

Die Mundhöhlenresonanz und die Möglichkeit, den Mundresonator durch die Flüsterstimmluft anzublase, hat sodann Donders²⁾ genauer studiert. Donders hörte aus dem Klange geflüsterter Vokale bestimmte Töne heraus,

¹⁾ The London and Westminster Review, 1837, Oct. 27. — ²⁾ Arch. f. d. holländ. Beiträge f. Natur- u. Heilkunde, herausgeg. von Donders u. Berlin 1, 157, 1857. Ähnliche Beobachtungen übrigens schon bei Grassmann, Progr. d. Stettiner Gymnasiums 1854, Ann. d. Phys. N.F. 1, 606, 1877. Helmholtz erwähnt eine Anzahl älterer Arbeiten, in denen den Dondersschen ähnliche, unvollkommenere Beobachtungen mitgeteilt werden: Samuel Reyher, Mathesis mosaica, Kiel 1619; Chr. Hellwag, De formatione loquelae, Dissert. Tübingen 1780; Flörke, Neue Berliner Monatsschrift, Sept. 1803, Febr. 1804; Olivier, Orthoepographisches Elementarwerk 3, 21, 1804. Von neueren, von mir nicht in einzelnen zitierten Arbeiten seien noch diejenigen von Lloyd genannt: Journ. of Anat. and Physiol. 31, 233, 1896; Proc. Roy. Soc. Edinburgh 22, 97, 1898; Zeitschr. f. neusprachl. Unterricht von Viëtor, 1897; Speak sounds, Phonetische Studien 3 bis 5, Marburg 1890 bis 1892.

so für U das f^1 , für \ddot{U} das a^1 usw. Davon, daß in dem Flüsterklang der Vokale wirklich eine bestimmte Tonhöhe maßgebend ist, überzeugt man sich, wie später Grützner angegeben hat, sehr gut, indem man sich bemüht, im Flüsterton unter Beibehaltung eines bestimmten Vokalklanges die Tonleiter in die Höhe zu singen. Es gelingt durchaus nicht, sondern wenn der Vokal derselbe bleibt, bleibt auch die Tonhöhe fast ungeändert. Am auffallendsten ist der Versuch, wenn man zuhört, wie ein anderer sich bemüht, die Tonhöhe ohne den Vokal zu ändern. Grabow¹⁾ hat schon im Jahre 1875 darauf hingewiesen, wie schwer es ist, auf einen bestimmten Text die Melodie flüsternd zu singen. Ich finde das tatsächlich unmöglich und kann wirkliche melodische Tonhöhenänderungen im Flüsterton nur durch Wechsel der Vokale markieren.

Die Bestimmung absoluter Tonhöhen an geflüsterten Vokalen erscheint mir mit außerordentlichen Fehlerquellen behaftet; man ist namentlich bei Beobachtungen an sich selbst der Autosuggestion sehr ausgesetzt, und ein ungeübter Beobachter kann leicht glauben, auf den Vokal A im Flüsterton eine Melodie singen zu können. Er fühlt die wechselnden Kehlkopfstellungen, ein Zuhörender aber hört nur immer denselben Laut.

Helmholtz hat die Donderssche Flüstermethode ebenfalls angewandt und mit anderen Methoden kombiniert, Prüfung der Mundhöhlenresonanz bei Vorhaltung von Stimmgabeln und (für die Vokale \ddot{U} und \ddot{O}) Überführen des Mundtones in einen richtigen Pfeifton. Die Tonhöhen nach Donders und Helmholtz differieren recht merklich, wie die Tabelle 2 zeigt.

Tabelle 2.

Vokal	Tonhöhe	
	nach Donders	nach Helmholtz
U	f^1	f
O	d^1	b^1
A	b^1	b^2
\ddot{O}	$g?$	cis^3
\ddot{U}	a^2	$g^3 - a^3$
E	cis^3	b^3
I	fis^3	d^4

Die Differenzen, die annähernd eine Oktave betragen, führte Helmholtz auf Irrtum über die Oktavenlage bei Donders zurück, er hat indessen, wie aus der gleich zu erwähnenden, unter seiner Leitung ausgeführten Arbeit Auerbachs hervorgeht, später andere Tonhöhen anerkannt und speziell statt des tiefen, offenbar unrichtig bestimmten f (für Vokal U) das höhere f^1 gesetzt. Natürlich spielen, wie schon verschiedentlich hervorgehoben wurde, individuelle Unterschiede eine große Rolle, auch die Nationalität des Sprechenden. So findet Helmholtz neben seinem A mit dem charakteristischen

¹⁾ Herrigs Arch. 54, 367, 1875, und Die Musik in der deutschen Sprache, Leipzig 1879 (zitiert nach Grützner).

Ton b^2 für das schärfere A der Engländer und Italiener d^3 , also um eine Terz höher.

Für die Vokale \bar{A} , E und I fand Helmholtz zwei charakteristische Töne, einen ziemlich tiefen und einen sehr hohen, entsprechend der Zerlegung der Mundhöhle in zwei getrennt mitschwingende Resonanzräume (s. o. S. 763). Bei I entspricht dem hohen Ton der enge Kanal zwischen Zunge und hartem Gaumen, dessen Länge etwa 6 cm beträgt. Eine offene Pfeife dieser Länge würde angeblasen den Ton e^4 geben, was mit der Helmholtzschen Bestimmung des d^4 als charakteristischer hoher Ton des I recht gut stimmt.

Das wichtigste Ergebnis der Helmholtzschen Untersuchungen ist die Erkenntnis des Vorhandenseins bestimmter charakteristischer Töne in jedem Vokalklang, die von der Tonhöhe des Grundtons, auf den der Vokal gesprochen oder gesungen wird, unabhängig ist¹⁾, dagegen sich mit der Änderung des Vokalcharakters sofort ändert.

Klarer und bestimmter als seine Vorgänger auf diesem Gebiete stellt Helmholtz die Frage: Ist der Vokalcharakter bedingt durch das relative Hervortreten bestimmter Obertöne, deren Ordnungszahl in der Reihe der Partialtöne für jeden Vokal charakterisierend ist? — oder sind es Töne von bestimmter, für jeden Vokal charakteristischer absoluter Tonhöhe, die für den Klangeindruck maßgebend sind? Helmholtz betonte das absolute Moment als für den Vokalcharakter entscheidendes, gegenüber der Bedeutung des relativen Moments für die Klangfarbe verschiedener Klänge, Instrumente und Stimmen. Sein Schüler Auerbach²⁾ vertrat indessen, ebenfalls hauptsächlich auf der Resonatorenmethode fußend, die Anschauung, daß sowohl das absolute wie das relative Moment eine wichtige Rolle spielen. Auf die von Auerbach angegebenen charakteristischen Tonhöhen komme ich unten noch zurück. Auf die Einzelheiten seiner Untersuchung einzugehen, kann ich mir um so eher ersparen, als Grützner den wesentlichen Inhalt des experimentellen Teiles seiner Arbeit sehr eingehend in Hermanns Handbuch wiedergegeben hat.

Auerbachs Versuche sind für mich nicht überzeugend. Sie basieren auf der Schätzung der relativen Intensität, mit der verschiedene Partialtöne die Königsche Resonatorenreihe erregen. Wer mit Resonatoren gearbeitet hat, wird zugeben, daß solche Schätzungen nur sehr bedingten Wert haben. Außerdem sprechen die Resonatoren auf eine so erhebliche Zahl von Tönen an, und die Maximalresonanz ist so unsicher zu bestimmen, daß Schlüsse wie die Auerbachschen, in denen noch dazu eine ganze Anzahl sehr verschieden beurteilbarer Voraussetzungen stecken, keine bindende Kraft haben können. Der aufgewandte mathematische Apparat steht hier zur Genauigkeit der Beobachtungen in einem entschiedenen Mißverhältnis.

Etwas später suchte Auerbach die charakteristischen Mundhöhlentöne durch Perkussion des Kehlkopfes bei den den einzelnen Vokalen entsprechenden Mundstellungen festzustellen. Seine Ergebnisse siehe unten in der Tabelle auf S. 782.

¹⁾ Daß diese Unabhängigkeit keine allgemeine und absolute sein kann, darüber vgl. unten S. 789. — ²⁾ Pogg. Ann. d. Phys. u. Chem. 8, Ergänzungsband (1878) und Zeitschr. f. franz. Sprache u. Literatur 16.

Auerbach scheint sich hierbei ausschließlich oder überwiegend auf Versuche an sich selbst zu stützen, deren Wert ebenfalls ein etwas zweifelhafter ist. Auch hier kommt der oben erwähnte zwingende Einfluß der Vorstellung in Betracht, die man von der eingenommenen Mundstellung hat. Damit die Versuche überzeugend wären, müßten sie von zwei Personen angestellt werden, von denen die eine den erzeugten Klang zu beurteilen hat, ohne zu wissen, welche Vokalbildung die andere Versuchsperson intendiert. Ich habe früher geglaubt, bald die Dondersschen, bald die Helmholtzschen oder Auerbachschen Versuche bestätigen zu können, bin aber davon namentlich hinsichtlich der letzteren ganz abgekommen. Sobald man sich vor Selbsttäuschung hinreichend schützt, sind die Versuche nicht überzeugend. Man kann wohl durch Klopfen am Kehlkopf bei verschiedenen Mundstellungen einen Tonhöhenwechsel merkbar machen, aber erstens ist seine quantitative Beurteilung sehr ungenau, und zweitens ist die Oktavenlage bei diesen geräuschartigen Lauten sehr unsicher bestimmbar. Am ausgeprägtesten sind noch die Tonhöhenänderungen bei Perkussion der Backe, wo der Unterschied zwischen *U*, *O*, *Á* und *A* deutlich ist, eine absolute Höhenangabe aber auch nur sehr willkürlich bleibt.

Was die bisher erwähnten Untersuchungen Positives ergaben, das war vor allem der deutliche Hinweis auf das Vorhandensein bestimmter für die einzelnen Vokale charakteristischer Töne, die von der Stellung der Sprachwerkzeuge abhängig, von der absoluten Tonhöhe des tiefsten im Klange enthaltenen Partialtones aber in weitgehendem Maße unabhängig sind. Das war namentlich den Arbeiten von Donders und Helmholtz zu entnehmen. Aus den Versuchen von Willis ergab sich schon der Hinweis auf intermittierendes oder remittierendes Auftreten der charakteristischen Töne. Aus Auerbachs Untersuchungen kann als vielleicht richtig der Hinweis auf eine gewisse Bedeutung des relativen Moments neben dem absoluten entnommen werden. Bezüglich der Einzelheiten, namentlich der absoluten Tonhöhen sind alle genannten Untersuchungen zufolge ihrer Methodik unbefriedigend.

2. Phonautographische Untersuchungen.

Bessere Erfolge waren von einer graphischen Methode zu erwarten, die denn auch in der Folge in verschiedensten Formen angewandt wurde.

Die erste derartige Vorrichtung, die zunächst zu anderen akustischen Zwecken konstruiert wurde, ist der Phonautograph von Scott u. König. Eine Membran aus Gummi oder Goldschlägerhäutchen schreibt mittels einer Borste auf einem beruhten Zylinder ihre Schwingungen auf. Der große ellipsoidische Schallbecher aus Gips (später paraboloidisch aus Metall), sowie die Qualität der Membran mußten bestimmte Eigentöne des Apparates begünstigen und ihn zu feineren, namentlich quantitativen Untersuchungen ungeeignet machen.

Donders¹⁾ hat als erster mit dem Phonautographen Vokalklänge graphisch aufgenommen.

Einen anderen Phonautographen mit größeren Hebelekskursionen benutzte Schneebeli²⁾. Jenkin und Ewing³⁾, Lahr⁴⁾ und Fick⁵⁾ ließen durch

¹⁾ Ann. d. Phys. 123, 527, 1864. — ²⁾ Arch. scienc. phys. et nat. 63, 79, 1868. — ³⁾ Nature 17, 384, 1878; Transactions Roy. Soc. Edinburgh 28, 745, 1879. — ⁴⁾ Wied. Ann. 27 (1886). — ⁵⁾ Beiträge z. Physiol. Festschr. f. Ludwig, Leipzig 1887.

lange Hebel die Eindrücke im alten Edisonschen Phonographen in stark vergrößertem Maßstabe auf eine Schreibfläche zeichnen, erhielten aber keine brauchbaren Resultate.

Der beste der direkt schreibenden Apparate ist der Sprachzeichner von Hensen¹⁾, der bei den Versuchen von Wendeler²⁾, Martens³⁾ und Pipping⁴⁾ Verwendung fand.

Charakteristisch für den Apparat ist die trommelfellförmig gespannte kleine, stark gedämpfte Membran, die ihre Schwingungskurven mittels einer Diamantspitze in Glas ritzt. Die weitgehende Dämpfung verhindert störende Eigenschwingungen, bedingt aber auch eine geringe Empfindlichkeit, also sehr kleine Kurven. Eigene Erfahrungen über das Instrument habe ich nicht.

Zu hoher Vollkommenheit wurde die Phonographie durch Hermann⁵⁾ gebracht, der an Stelle eines zeichnenden Hebels einen auf bewegter photographischer Platte registrierenden Lichtstrahl anwandte. Die Schallschwingungen wurden von einer stark gedämpften Resonanzplatte, z. B. aus Glimmer, aufgenommen und deren oszillierende Bewegungen auf ein Spiegelchen übertragen, das ein schmales Strahlenbündel reflektierte. Samojloff⁶⁾ hat eine im Prinzip sehr ähnliche Vorrichtung beschrieben, die als besonders geeignete schwingende Membran eine dünne Korkscheibe enthält. Die Fig. 129 zeigt die Anordnung

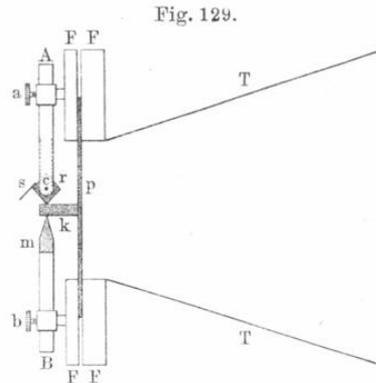


Fig. 129.

Apparat zur Projektion und Registrierung der Stimmenschwingungen, nach Samojloff.

des Samojloffschen Apparates, der sich auch mir sowohl zur Demonstration der Vokalkurven vor großem Auditorium, wie auch zur photographischen Registrierung sehr bewährt hat. Zu ersterem Zweck läßt man den von dem schwingenden Spiegelchen reflektierten Lichtstrahl auf einen rotierenden Königschen Spiegel fallen und von diesem auf eine weiße Wand reflektieren. An geeigneter Stelle wird eine schwache Konvexlinse eingeschaltet, die die möglichst punktförmige Lichtquelle auf der Wand abbildet⁷⁾.

Hermann⁸⁾ verwandte späterhin ein indirektes Verfahren zur phonographischen Untersuchung; er ließ die Schwingungen zunächst von einem Phonographen aufnehmen, dann aber, statt die Töne in gewöhnlicher Weise zu reproduzieren, ein kleines Glasknöpfchen in der eingegrabenen Furche schleifen, welches seine Bewegungen wiederum durch ein Gelenk auf ein kleines Spiegelchen übertrug. Letzteres lenkte einen Lichtstrahl auf die photographische Platte. Ein Hauptvorteil des Verfahrens liegt darin, daß

¹⁾ Zeitschr. f. Biol. 23, 28. — ²⁾ Ebenda 23. — ³⁾ Ebenda 25. — ⁴⁾ Ebenda 27, 31. — ⁵⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 45, 582, 1889; 47, 44, 1890. — ⁶⁾ Ebenda 78, 1, 1899. — ⁷⁾ Das Prinzip dieser Registriermethode wandten schon Rigollot und Chavanon an (Kollodiummembran, Spiegel an Kokonfaden befestigt), Journ. de physique (2) 2, 553, 1883. Lebedeff (Journ. d. russ. phys.-chem. Ges. 26, 290, 1894) empfahl die Korkmembran. — ⁸⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 53, 58.

man die Phonographenwalze bei der Übertragung der eingegrabenen Kurve auf die lichtempfindliche Platte viel langsamer rotieren lassen kann als bei der Aufnahme, wodurch das gleitende Glasknöpfchen den Unebenheiten der Furche genauer folgen kann als bei schnellem Gang.

Über die Analyse der so gewonnenen Kurven s. unten S. 780.

Die von Scripture¹⁾ verwendete Maschine zur vergrößerten Nachzeichnung der Grammophonglyphik ist zur feineren Analyse ungeeignet, da Massen von erheblicher Größe, durch mehrere metallische Gelenke verbunden, bei ihr in Bewegung gesetzt werden und damit die Vorzüge der Hensenschen und Hermannschen Methode preisgegeben werden. Höchstens zur Untersuchung der Stimmhöhe und des Accents eignet sich Scriptures Apparat.

Boeke²⁾ hat die im Phonographenzylinder eingegrabenen Furchen, die perlschnurartig aussehen, mikroskopisch untersucht und die Breite der Eindrücke gemessen, die der Schreibstift erzeugt, und konnte, da die Breite in gesetzmäßiger Beziehung zur Tiefe der Eindrücke steht, die Ordinatenhöhen der Schwingungskurve einigermaßen genau ermitteln. Sehr exakt ist die Methode indessen nicht.

Raps³⁾ hat in interessanter Weise die Verdichtungswellen in der schwingenden Luftsäule direkt registriert, ohne eine Membran zur Mitschwingung zu bringen. Er teilte ein Strahlenbündel in eine Portion, die durch ruhende Luft ging, und eine zweite, die eine Luftschicht passierte, in welcher die Schallwellen abwechselnd Verdichtung und Verdünnung erzeugten. Beide Portionen wurden auf denselben Punkt einer bewegten photographischen Platte gelenkt und zeigten Interferenz, sobald Schall-schwingungen in der zweiten Luftschicht entstanden. Auf diese Art konnten auch Kurven der Vokale *A*, *O*, *U* gewonnen werden.

Anhangsweise seien hier noch die Königschen empfindlichen Flammen⁴⁾ erwähnt, die vielfach zur Untersuchung von Schallschwingungen gedient haben. Die häufig gebrauchten Bezeichnungen „manometrische Kapsel“ und „Manometerflammen“ sind falsch, da die Flammenmethode nicht den in der Gaskapsel herrschenden Druck direkt registriert, sondern die Ausströmungsgeschwindigkeit des Gases, deren Abhängigkeit vom Druck bei schnellem Wechsel des Druckes und enger Brenneröffnung eine komplizierte wird. Auf die Konstruktion der Gaskapseln im einzelnen näher einzugehen, erübrigt sich hier [vgl. Nagel, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1905, Suppl. 77]. Die Beobachtung der Flammenoszillationen erfolgt entweder subjektiv im Königschen Drehspiegel oder objektiv mittels der Photographie (Marage⁵⁾, Samojloff⁶⁾). Die Brauchbarkeit der Methode ist beschränkt, weil die Flammenkurven, wie ich (l. c.) gezeigt habe, den Bewegungsvorgang der schwingenden Membran schon bei mäßigen Frequenzen entstellt wiedergeben. Nützlich kann die Methode dagegen sein, um zu zeigen, wie bedeutende Verschiedenheiten der Flammenkurve überhaupt bei verschiedener Klangfarbe erhalten werden können. Besonders anschaulich ist diese Demonstration, wenn man die Paukenhöhle eines frischen Hammelkopfes in eine Gaskammer verwandelt und

¹⁾ A new machine for tracing speech curves, Amer. Journ. f. Science 15 (1903); Med. Record 1903; Ostwalds Ann. d. Naturphilosophie 4, 28. — ²⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 50, 297, 1891. — ³⁾ Wied. Ann., N. F. 50, 193, 1893. — ⁴⁾ Ann. d. Phys. 146, 161, 1822. — ⁵⁾ Étude de cornets acoustiques par la photographie des flammes de König, Paris (Masson); Journ. de physique (3) 7, 131 u. 449, 1898; Compt. rend. 128, 425 u. 689, 1899. — ⁶⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 78, 23, 1899.

gegen das Trommelfell singt¹⁾. Die Hauptbedeutung der Methode liegt aber in der Kombination der Gaskapsel mit Resonatoren, wodurch es möglich wird, die Entstehung von Schwingungen in solchen dem Auge sichtbar und auch einigermaßen nach ihren Intensitätsverhältnissen abschätzbar zu machen. So lassen sich z. B. die Obertöne eines Klanges veranschaulichen.

Eine hübsche Modifikation des Verfahrens, die für gewisse Zwecke nützlich sein kann, hat Marbe²⁾ angegeben. Er läßt einen bewegten Papierstreifen von der Flamme beruhen. Bei jeder Oszillation der Flamme entsteht ein Rußringel. Zu arger Verwirrung hat die Flammenmethode in den Händen von Marage (l. c.) geführt. Samojloff³⁾ hat den Wert dieser Untersuchungen hinreichend beleuchtet.

3. Hermanns Vokaltheorie.

L. Hermann⁴⁾ vertritt auf Grund vieljährigen, nach den verschiedensten Methoden durchgeführten Studiums der Vokalklänge folgende Anschauung: In jedem Vokalklange ist ein oder sind mehrere charakteristische Töne, die „Formanten“, enthalten, deren Höhe von der Höhe des Grundtones, auf den der Vokal gesungen oder gesprochen wird, unabhängig ist. Die Formanten sind nicht notwendig harmonische Obertöne des Grundtones, können aber mit solchen gewissermaßen zufällig zusammenfallen. Sie verdanken ihre Entstehung der für die einzelnen Vokale charakteristischen Gestalt des Ansatzrohres. Die in der Mundhöhle bzw. in einzelnen Abteilungen derselben enthaltene Luft wird durch den Strom der Stimmluft in ihre durch Größe und Gestalt des Raumes bedingten Eigenschwingungen versetzt und somit zum Tönen gebracht. Da aber die Intensität des anblasenden Luftstromes in der Periode des Grundtones regelmäßig wechselt, wegen der abwechselnden Öffnung und Schließung der Glottis, treten auch die Mundtöne (mit anderen Worten die Formanten) in der Periode des Grundtones intermittierend oder doch remittierend auf, und zwar in jeder Stimmperiode neu einsetzend.

Die Annahme periodisch auftretender charakteristischer Töne hat Hermann mit Willis gemein, die Auffassung der charakteristischen Töne als durch Anblasen der Eigentöne des Mundes bedingte mit Wheatstone, Donders und Helmholtz. Nichtsdestoweniger kann und muß man von der „Hermannschen Formantentheorie“ sprechen, da erst in der Hand dieses Forschers das Tatsachenmaterial sich zu einem Ganzen, einer gut fundierten und durchgearbeiteten Theorie zusammenschloß.

Die Theorie fußt auf den Vokalkurven, die Hermann nach den oben beschriebenen beiden Verfahren erhielt, und wird gestützt durch synthetische Versuche und den unten zu erwähnenden Phonographenversuch. Pippings Versuche, obwohl in den Einzelheiten der Ergebnisse von den Hermannschen abweichend, bestätigen doch ebenfalls die Grundtatsache der von der Tonhöhe des Grundtones unabhängigen Lage der charakteristischen Töne.

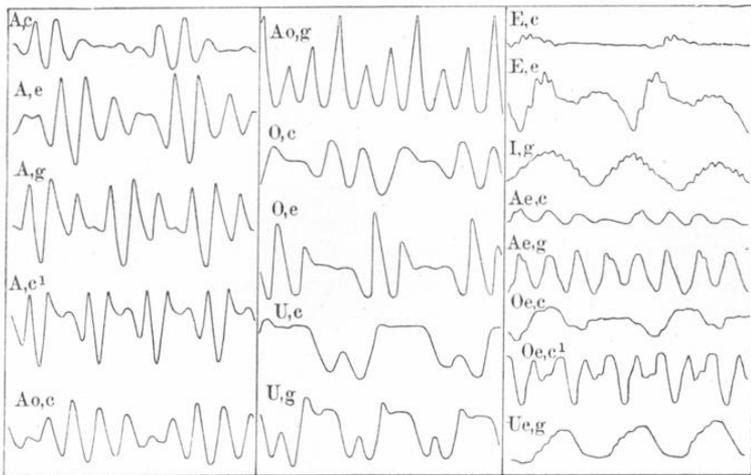
Die Analyse der Vokalkurven, d. h. ihre Zerlegung in Partialtöne kann in verschiedener Weise erfolgen. Setzt sich, wie bei den Kurven für *I* und *E*, auf die Schwingung eines tieferen Tones eine besonders ausgeprägte

¹⁾ Exner, Arch. f. d. ges. Physiol. 13 (1876); Nagel u. Samojloff, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1898. — ²⁾ Physikal. Zeitschr. 7, 543, 1906. — ³⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 78, 23 u. 31, 1899. — ⁴⁾ Ebenda 47 (1890).

Schwingung eines viel höheren Tones in feinen Wellen oder Zäckchen auf (s. Fig. 130), so läßt sich die Zahl der auf eine Grundtonperiode kommenden kleinen Wellen im allgemeinen auszählen, und man findet damit die Schwingungszahl des hohen charakteristischen Tones.

Jede periodische Schwingung kann man in bekannter Weise in eine mehr oder weniger große Zahl von Sinusschwingungen zerlegen, die den harmonischen Obertönen der Grundtonschwingung entsprechen. Bei Wellenformen, wie sie z. B. Hermann bei *A* und *O* erhielt, kann man durch Ausmessen einer genügend großen Zahl von Ordinaten und Einführen der Werte in die Fouriersche Reihe eine Anzahl von Größen finden, die die Stärke angeben, mit der die einzelnen Partialtöne in dem Gesamtklange vertreten sind. (Über praktische Erleichterung der Berechnung vgl. Hermann, Arch. f. d. ges.

Fig. 130.



Vokalkurven nach L. Hermann.

Physiol. 47, 51, 1890.) Je größer die Zahl der gemessenen Ordinaten ist, desto größer die Genauigkeit. Kurven mit vielen kleinen Zacken, wie die *I*-Kurven, lassen sich nicht genau in dieser Weise ausmessen.

Diese Art der Analyse kann nur die wahren Obertöne eines Klanges zum richtigen Ausdruck bringen. Ist in einem Klange ein zum Grundton nicht harmonischer Ton enthalten, so kann dessen Schwingungszahl und Amplitudengröße durch die Analyse nicht gefunden werden, sondern seine Gegenwart äußert sich in der Rechnung dadurch, daß die in der Schwingungszahl nächstbenachbarten Partialtöne mit größeren Amplituden figurieren, als sie ihnen den wahren Verhältnissen nach zukommen. Eine Anschauung, wie die Amplitudenverhältnisse sich bei dieser Art darstellen, gibt die Tabelle 3 auf S. 781, auf Grund deren der charakteristische Ton für den Vokal *A* sich als zwischen e_2 und g_2 liegend ergibt¹⁾. Die Tabelle gibt für die im ersten

¹⁾ Ich wähle absichtlich ein Beispiel aus der klassischen ersten Publikation Hermanns vom Jahre 1890, wenn auch das Ergebnis der späteren Kurvenanalysen

Stabe stehende Stimmnote das Intensitätsverhältnis der Partialtöne bis zum zehnten an. Die am stärksten hervortretenden sind durch fettere Lettern gekennzeichnet.

Tabelle 3. — Vokal A. (Nach Hermann.)

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

Tabelle 4. — Vokal A.

Stimmnote	Formant	
	Schwingungszahl	Note
G 98	756	> <i>fis</i> ₂ (740)
A 110	717	> <i>f</i> ₂ (698,5)
H 123,5	708	> <i>f</i> ₂ (698,5)
c 130,8	698	<i>f</i> ₂
d 146,8	710	> <i>f</i> ₂ (698,5)
e 164,8	781	< <i>g</i> ₂ (784)
fis 185	725	< <i>fis</i> ₂ (744)
g 196	714	> <i>f</i> ₂ (698,5)

ein wenig abweichende Resultate ergibt. Am Prinzip der Sache ändert das nichts. Die Formanthöhen, wie sie von Hermann in der neuesten Auflage seines Lehrbuches gegeben werden, sind in der Tabelle 5 auf S. 782 zu finden.

Tabelle 5.

	Donders	Helmholtz	König	Auerbach (Perkussion)	Hermann 1890	Pipping Verstärkungs- gebiete	Hermann 1905 (lange Vokale)	Boeke	Samojloff
A	b^1	b^2	b^2	f^2	e^2-gis^2	bei gis^2 und dis^2	Mitte der 2. Oktave	e^3-cis^3	g^2-a^2
E	cis^3	$f^1 b^3$	b^3	g^1-a^1	h^3-c^4	" fis^3 " cis^4	Anfang der 2. und Ende der 3. Oktave	$< f^4$	h^1-cis^2, h^3-cis^4
I	f^3	$f d^4$	b^4	f^1	d^4-g^4	" d^1 " cis^4	erster Teil der 4. Oktave	$> d^4$	$c^1-g^1, c^2-e^2, d^4-e^4$
O	d^1	b^1	b^1	d^1	d^2-e^2	" g^1	erster Teil der 2. Oktave	$> c^2$	h^1-cis^2
U	f^4	f	b	f^1	e^2-d^2	" d^1 bis f^1	erster Teil der 1. und der 2. Oktave	$< d^2$	c^1-g^1, c^2-e^2

Eine weit einfachere Berechnungsweise für die Schwingungszahl der Formanten ist die schon oben erwähnte und von Hermann sogenannte Proportionalmessung. Ist n die Schwingungszahl der Stimmnote, L die Länge einer ganzen Grundtonschwingung, l diejenige einer ganzen kleinen (Formant-)Schwingung, so ist die gesuchte Schwingungszahl der letzteren

$$x = \frac{L}{l} n.$$

Ich gebe in Tabelle 4 die Resultate der Proportionalmessung von derselben A-Kurve Hermanns, deren Fourier-Analyse in Tabelle 3 wiedergegeben ist (siehe vorige Seite).

Die gute Übereinstimmung beider Rechnungsweisen liegt auf der Hand. Ein Vorteil der Proportionalmessung ist, daß sie auch unharmonische Teiltöne erkennen läßt, ein Nachteil, daß sie im allgemeinen nur einen charakteristischen Ton ergeben kann.

Gegen die Hermannsche Auffassung vom Wesen der Vokale haben sich Hensen (l. c.) und besonders Pipping (l. c.) ausgesprochen, teils auf Grund theoretischer Überlegungen, teils unter Verwertung der Pippingschen Versuche an Hensens Sprachzeichner. Pipping bestreitet die Selbständigkeit der Formanten und das Vorhandensein zur Stimmnote unharmonischer Töne im Vokalklang. Er konnte solche allerdings, da er seine Kurven mit der Fourier-Analyse untersuchte, nicht finden. Pipping nimmt, wie Helmholtz, statt der festen Formanten „Verstärkungsgebiete“ an, die für jeden Vokal

charakteristisch sind und einen Umfang von einer Oktave und darüber haben sollten. Die Lage dieser Verstärkungsgebiete ist aus Tabelle 5 ersichtlich. Pipping schließt sich Helmholtz auch in der Annahme an, daß bei den einzelnen Vokalstellungen der Stimmorgane Obertöne wechselnder Ordnungszahl, je nach der Stimmnote, in das Verstärkungsgebiet hineinfallen.

Hermann hat gegen diese Auffassung gewichtige Bedenken erhoben. Die Existenz der hohen Töne in *I* und *E* ist unbezweifelt. Wollte man aber den Formanten f^4 des *I* als verstärkten Partialton betrachten, so käme man beim Singen des *I* mit einer Baßstimme auf die Note *G* auf den 28. bis 29. Partialton und selbst bei *g* noch auf den 14. Partialton. Das Vorhandensein von Obertönen solcher Ordnungszahlen ist überhaupt im Stimmklange nicht mehr nachweisbar; und doch ist der *I*-Klang auch auf den tiefen Noten deutlich zu singen.

Auf die umfangreiche Debatte zwischen Hermann und Pipping hinsichtlich anderer Einzelheiten einzugehen, scheint mir hier um so weniger nötig, als die beiden Autoren auf verschiedenen Wegen doch zur Annahme sehr ähnlicher Lage der charakteristischen Töne im Vokalklange kommen und als gemeinsames Resultat ihrer Arbeiten sich die Bestätigung der Donders-Helmholtzschen Behauptung der konstanten absoluten Höhenlage der Formanten ergibt. Auf eine meines Erachtens notwendige Einschränkung bzw. Korrektur dieser Behauptung komme ich weiter unten (S. 789).

Eine eingehende vergleichende Würdigung der Verdienste von Hermann und Pipping um die Vokalforschung ist an dieser Stelle natürlich nicht möglich. Erwähnt sei, daß manche wichtige Tatsachen von beiden Autoren selbständig gefunden worden sind, bei einzelnen, wie der Feststellung der kleinen Zäckchen auf der Schwingungskurve des *I*, gebührt Pipping die Priorität der Publikation. Die Darstellungen dieses Autors enthalten übrigens einige Irrtümer und Mißverständnisse, die nachträglich zum Teil berichtigt wurden. Die Hermannsche Vokalforschung zeichnete sich von Anfang an durch eine sehr konsequente Entwicklung aus und ist in dieser Hinsicht geradezu vorbildlich. Daß auch sie noch manche bedeutungsvolle Frage offen läßt, ist evident und wird gewiß auch von Hermann selbst zugegeben. Ich betrachte es als Aufgabe der vorliegenden Darstellung, wesentlich das geleistete Positive hervorzuheben und die noch bestehenden Lücken und Zweifel nur flüchtig anzudeuten. Als nicht hinreichend geklärt erwähne ich die Frage nach dem Stärkeverhältnis namentlich der niederen Partialtöne im Vokalklang.

Die hohen Töne im *I*- und *E*-Klang, wie sie bei starker Dämpfung der Membran gefunden werden, sind sicherlich charakteristisch. Daß aber das auffällige Vortreten des ersten bzw. zweiten Obertones bei einigen Vokalkurven nur durch Eigenschwingungen der aufnehmenden Membran bedingt ist, halte ich für unwahrscheinlich, weil es bei verschiedenster Qualität und Größe der Membran sich zeigt, sobald deren Dämpfung einen geringeren Grad erreicht. Ich vermute, ohne an dieser Stelle den Beweis zu versuchen, daß mindestens bei *I*, \ddot{U} und *U* ein relatives Moment (im Sinne von Helmholtz) mitspricht, im Gegensatz zum *A*, für das mir die Hermannsche Theorie am vollkommensten zuzutreffen scheint¹⁾.

¹⁾ Für *L* und andere Halbvokale gibt Hermann in seinen letzten Vokalarbeiten ausdrücklich ein starkes Hervortreten des ersten Partialtones an. Ob Hermann bezüglich der Vokale noch durchaus auf dem Standpunkt von 1890 steht, oder ob er jetzt auch für einzelne Vokale eine gewisse Bedeutung des relativen Moments, d. h. des Stärkeverhältnisses der Partialtöne zuzugeben geneigt ist, vermag ich aus seinen Veröffentlichungen nicht bestimmt zu entnehmen.

In der Tabelle 5 auf S. 782 gebe ich für fünf Hauptvokale die charakteristischen Töne nach den Angaben verschiedener Autoren. Bei Beurteilung der Angaben ist außer der ungleichen Methode der Untersuchung auch die verschiedene Nationalität der Autoren und die selbstverständliche individuelle Verschiedenheit des Stimmklanges zu berücksichtigen. Zu erwähnen ist noch, daß nach Hermann¹⁾ die Formanten kurzer Vokale durchgehends eine etwas höhere Lage haben als die langer.

Nach Hermann erfolgt das Anblasen der auf eine bestimmte Eigentonhöhe eingestellten Mundhöhle periodisch in einzelnen Luftstößen derart, daß zwischen den einzelnen Stößen im Moment des Glottisschlusses der Mundton entweder völlig oder doch fast ganz erlischt. In anderen Fällen tritt an die Stelle der Intermission eine bloße Remission des Mundtones, was sich in der Schwingungskurve in stellenweise geradem horizontalen Verlauf äußern muß. Bei bloßer Remission erscheinen die Zacken der Formantschwingungen auf die (oft sehr schwach ausgeprägten) Schwingungen des Grundtones aufgesetzt. Die Frage, ob die Formantschwingung bei bloßer Remission fortlaufend in ihrer eigenen Periodik weitergeht („autoperiodisch“ auftritt) oder ob sie mit jeder Grundtonschwingung in immer gleicher Phase neu auftritt („anaperiodisch“), beantwortet Hermann¹⁾ in letzterem Sinne. Ein in Autoperiodizität auftretender, zum Grundton unharmonischer Formant müßte in die Kurven in sogenannter noniusartiger Verschiebung eingehen und die Gestalt der Kurven fortlaufend von Periode zu Periode ändern. Da das nicht beobachtet wird, muß Anaperiodizität der unharmonischen Formanten angenommen werden, wodurch zugleich der Hensen-Pipping-Auerbachsche Einwand entfällt, daß ein zum Grundton unharmonischer Formant den Klang eines gesungenen Vokals unschön machen würde. Der Formant klingt eben nicht fortwährend mit, wie wenn mit einem tiefen Flönton ein unharmonischer hoher gleichzeitig erzeugt wird, sondern er entsteht nur momentweise, kann also auch nicht mit einem Oberton Schwebungen geben.

Abgestimmte Luftsäulen, wie sie bei akustischen Instrumenten (Resonatoren, Orgelpfeifen) verwendet werden, in ähnlicher Weise durch einen intermittierenden Luftstrom, etwa die aus einer Zungenpfeife ausströmende Luft, zu ähnlichem stoßweisen Ertönen zu bringen, wie es bei der Vokalbildung geschieht, gelang bis jetzt nicht, sondern die Luftsäulen geraten, wenn überhaupt, in kontinuierliche Schwingung, auch wenn der Luftstrom intermittiert. Dies gab zuerst Hermann²⁾ an, gegenüber Hensen³⁾ und Pipping⁴⁾, die gemeint hatten, es gelänge überhaupt nicht, die Lippenpfeife durch die Zungenpfeife anzublasen. Daß dies doch möglich ist, kann leicht gezeigt werden, es entsteht dann aber auch bei richtiger Wahl des Lippenpfeifentons kein Vokalklang, weil eben der Ton nicht in der Stimmtonperiode intermittiert⁵⁾.

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 61, 184, 1895. — ²⁾ Ebenda 61, 195, 1895. — ³⁾ Zeitschr. f. Biol. 28, 39. — ⁴⁾ Ebenda 31, 524; Acta Soc. Fennicae 20, Helsingfors 1894. — ⁵⁾ Daß es bisher nicht gelungen ist, durch eine Zungenpfeife Ansatzrohre von der Größe und Beschaffenheit der menschlichen Mundhöhle so anzublasen, daß klare, unzweifelhafte Vokalklänge entstehen, ist eine empfindliche Lücke, deren Ausfüllung die schwerstwiegende Bestätigung der Hermannschen Theorie bedeuten würde.

Helmholtz (Tonempfindungen, 4. Aufl., S. 176) hat schon darauf hingewiesen, daß man beim Sprechen von \ddot{U} , \ddot{O} und (wie ich hinzufüge) U leicht einen Mundpfeifton neben dem Vokalklang erzeugen kann. Manchen Personen passiert das oft unwillkürlich.

Wenn ich ein leises U auf den Ton g singe, mit absichtlich recht enger Mundöffnung, ertönt dabei leicht ein kräftiger Pfeifton, dessen Höhe zwischen f^2 und gis^2 wechseln kann, je nach der Klangfarbe. Am leichtesten erhalte ich ihn bei einem dumpfen U , wobei seine Tonhöhe zwischen f^2 und fis^2 liegt. Die Dissonanz ergibt ein sehr merkbare Schwirren, offenbar Schwebungen mit dem dritten Oberton. Bei einem helleren, für meinen Stimmklang natürlicheren U steigt der Pfeifton auf g^2 , fällt also mit dem 4. Partialton zusammen.

Lasse ich, während ich den Grundton g festhalte, den Vokalklang von U nach \ddot{U} übergehen, so steigt der Pfeifton und erreicht bei einem natürlich klingenden \ddot{U} gis^2 bis a^2 . Auch beim Sprechen der Vokale U und \ddot{U} ohne Sington sind diese hohen Töne wahrnehmbar, nur viel leiser. Bei \ddot{O} kann ich keinen deutlichen Pfeifton erhalten.

Das Vorhandensein der hohen Töne im gesprochenen oder innerhalb der kleinen Oktave gesungenen U ist auch mit Kugelresonatoren nachzuweisen, und zwar sprechen auf mein U die Resonatoren e_2 bis a_2 an, weitaus am stärksten f_2 , fis_2 .

4. Künstliche Nachahmung, Reproduktion und Alteration von Vokalklängen.

Unter dieser Bezeichnung sollen hier in aller Kürze nicht nur die verschiedenen Versuche erwähnt werden, Vokalklänge wirklich „synthetisch“ aus mehreren Partialtönen zusammensetzen, sondern auch die sonstigen Bemühungen, Vokalklänge an toten akustischen Instrumenten nachzuahmen.

Die ersten, nach Angabe der Zeitgenossen einigermaßen gelungenen Versuche zur Vokalnachahmung hat v. Kempelen mit seiner Sprechmaschine gemacht. Die Klangerzeugung erfolgte durch eine aufschlagende Zunge, die Variation der Klangfarbe anfangs durch eine das Kieferpaar imitierende Kombination zweier Hohlchalen, später durch einen plastischen, mit Hilfe der Hände zurechtgebogenen Trichter.

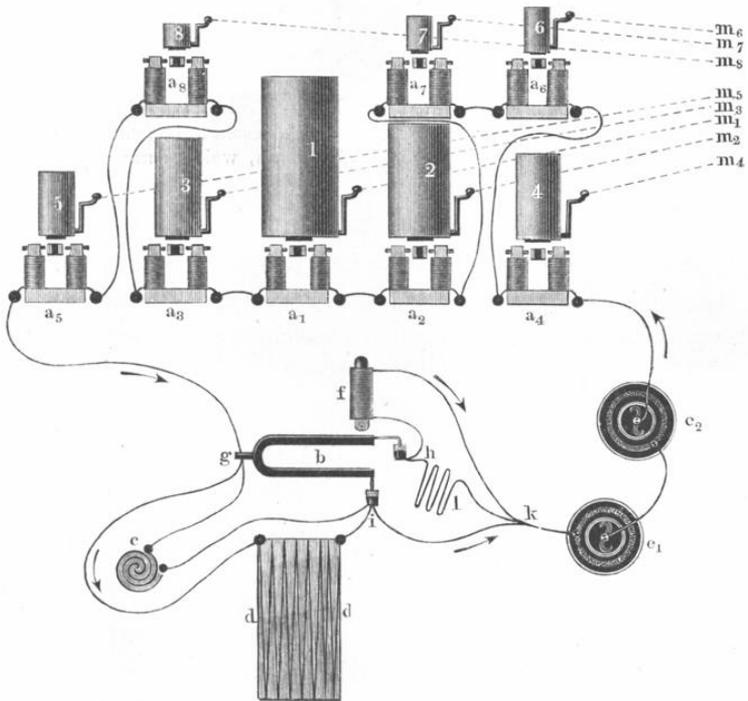
Es folgen die oben erwähnten Versuche von Willis an Pfeifen mit aufgesetzten Resonanzräumen, die in der Folge auch von Helmholtz aufgenommen wurden, ferner Willis' Versuch mit der schwirrenden Feder.

Sehr eingehende Versuche stellte alsdann Helmholtz mit elektrisch angetriebenen Stimmgabeln an, hinter denen passende Resonatoren befestigt waren. Fig. 131 zeigt die Anordnung des Versuches. Die Stimmgabel b liefert die Stromunterbrechungen, durch die die anderen Gabeln in Bewegung gesetzt werden. Letztere geben die Obertöne des von der Gabel b erzeugten Grundtones hörbar an, sobald die vor den Zylinderresonatoren 1 bis 8 befindlichen Verschlussklappen beiseite gezogen wurden. Helmholtz verfügte über die Töne $B, b, f_1, b_1, d_2, f_2, as_2, b_2, d_3, f_3, as_3, b_3$. Es gelang, U, O, \ddot{A}, A, E einigermaßen deutlich nachzubilden. Der Ton b allein gab U ; $b + b_1 + f_2$ gab O , $b + b_1 + f_2 + b_2 + d_3$ in richtigen Abstufungen ergab A . E gelang wegen der hohen Töne nur schlecht, I gar nicht.

Die beste Wiedergabe von Vokalklängen wird mit dem Phonographen von Edison oder seinen neueren Abarten (Grammophon usw.) erzielt, bei

dem bekanntlich eine schwingungsfähige Membran dadurch in Bewegung gesetzt wird, daß ein an ihr befestigtes Stiften über eine Fläche hingeleitet, in welche ein ähnliches Stiften zuvor die Schwingungen einer ähnlichen Membran eingegraben hat. Dadurch, daß der Stift der plastischen Masse dauernd anliegt, wird eine gute Dämpfung erzielt und es können daher Membranen verwendet werden, die an und für sich bei freiem Schwingen einen deutlichen Eigenton haben (Glas, Glimmer). Auch im Telephon, das übrigens die Vokale wesentlich schlechter wiedergibt als der Phonograph, ist die mit starkem Eigenton behaftete Eisenblechmembran dadurch recht gut gedämpft, daß sie in einem starken magnetischen Felde schwingt.

Fig. 131.



Helmholtz' Stimmgabelapparat zur Vokalsynthese.

Sowohl Telephon wie Phonograph haben Hermann zu interessanten, für seine Theorie wichtigen Versuchen gedient. Schon Jenkin und Ewing¹⁾, sowie Grützner (l. c. S. 184) haben versucht, bei verschiedenem Gang des Phonographen zu prüfen, ob der Charakter der hineingesprochenen Vokale mit der Änderung der Geschwindigkeit sich verändert. Alle im Klang enthaltenen Partialtöne müssen sich bei wechselnder Geschwindigkeit proportional ändern, und ein fester Formant im Sinne Hermanns könnte nicht bestehen bleiben. Die genannten Autoren glaubten, die Vokalklänge seien ziemlich unabhängig von der Rotationsgeschwindigkeit des Phonographen.

¹⁾ Nature 17, 384; Transact. Royal Soc. Edinburgh 28, 745, 1879.

Derselbe Versuch, mit dem modernen, vollkommeneren Phonographen an- gestellt, ergibt aber das gegenteilige Resultat (Hermann¹⁾ und spricht somit für die wenigstens bis zu einem gewissen Grade festgelegte absolute Tonhöhe des Formanten. Bei Beschleunigung der Drehung gehen *U* und *O*, *E* und *I* ineinander über, bei großer Abweichung von der Aufnahme- geschwindigkeit fließen alle Vokale in einen *Ö*-artigen Laut zusammen. Ich kann diese Angaben in der Hauptsache bestätigen, möchte sie nur insofern einschränken, als ich die zulässige Änderung der Phonographengeschwindigkeit ohne deutliche Schädigung der Vokalklänge doch etwas größer finde, als nach den Angaben der Autoren über den Schwankungsbereich der Formant- höhe zu erwarten wäre.

Bezüglich des Telephons hatte E. du Bois-Reymond²⁾ angenommen, bei der Induktion in der Telephonspule müsse eine Verschiebung der Phasen der Partialtöne um ein Viertel ihrer Perioden eintreten. Hermann³⁾, F. H. Weber⁴⁾ und Helmholtz⁵⁾ wiesen indessen nach, daß dies nicht zu erwarten ist, daß vielmehr bei Berücksichtigung des Potentials der Spiralen auf sich selbst die Phasen und Intensitäten wesentlich anders aus- fallen. Je nach der Größe der Widerstände und Potentiale kann man das Verhältnis sehr beträchtlich beeinflussen. Beim Mikrophon kann eine Phasenverschiebung um $\frac{1}{4}$ Periodenlänge erfolgen (Hermann), ohne aber den Vokalcharakter zu beeinflussen, ja auch Änderung der Intensitätsverhält- nisse der Partialtöne findet Hermann ohne merklichen Einfluß auf den Vokalcharakter.

Von erheblichem Interesse sind die Versuche, gegebene Kurven, die die theoretisch zu verlangende Zusammensetzung aus Partialtönen besitzen, zur Schallerzeugung zu verwenden. Preece und Stroh⁶⁾ konnten die in den Rand von Metallscheiben geschnittenen Kurven mittels Hebelübertragung stark verkleinert in die Phonographenwalze eingraben und diese dann in üblicher Weise abhören. Auch mittels der Königischen Wellensirene⁷⁾, bei der die in Blech ausgeschnittene Kurve vor einem Anblaseschlitz vorbeigeht, gelingt es, bei richtigem Verhältnis zwischen Periodenlänge der Kurve einer- seits und Rotationsgeschwindigkeit andererseits die Vokale erkennbar nach- zubilden (Hermann⁸⁾).

Bei weitem am interessantesten ist aber Hermanns Versuch⁹⁾ an der Helmholtzschen Doppelsirene, an der er zwei Töne zur Interferenz brachte und dadurch den Differenzton in einem bestimmten Vokalcharakter erzeugte. Er erhielt z. B. den Vokal *A* durch Interferenz zwischen *fis*² (711) und *gis*² (800); der Differenzton *Fis*² (89) hat *A*-Charakter, weil ein Ton von der Höhe des *A*-Formanten (etwa 750) 89 mal in der Sekunde auf kurze Momente erklingt. Ebenso entsteht bei geeigneten Kombinationen der *O*-Formant und der *A*-Formant, während für die weit höheren Formanten des *I* die

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 47, 43, 1890. — ²⁾ Verhandl. d. physikal. Gesellsch. Berlin 1877, 8. Dezbr. — ³⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 16, 264 u. 314, 1878; 17, 319; 48 (1891). — ⁴⁾ Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. Zürich 1878, 1. Teil. — ⁵⁾ Monatsber. d. preuß. Akad. d. Wissensch. Berlin 1878, S. 488; Tonempfindungen, 4. Aufl. — ⁶⁾ Proc. Roy. Soc. 28, 358, 1879. — ⁷⁾ Quelques expériences d'acoustique, Paris 1882, p. 235. — ⁸⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 48, 575, 1891. — ⁹⁾ Ebenda 47, 387, 1890.

Geschwindigkeit der Sirene nicht ausreicht. In diesen Fällen entsteht also ein Klang, in dem der für das Ohr hörbare Grundton objektiv nicht nachweisbar ist, sehr ähnlich dem Vokalklange der menschlichen Stimme nach Hermanns Auffassung, nach welcher der Grundton entweder ganz fehlen kann oder doch nur auffallend schwach vorhanden ist.

In diesem Zusammenhange sind noch die Versuche zu erwähnen, die Grützner¹⁾ durch Sauberschwarz²⁾ ausführen ließ. Hierbei wurden im Vokalklang der menschlichen Singstimme entweder der Grundton oder Töne in der Gegend der Hermannschen Formanten bzw. Pippingschen Verstärkungsgebiete durch Interferenz geschwächt oder ausgelöscht. Die Deutung der Versuchsergebnisse ist nicht leicht. Die Auslöschung der Formanten ist für die einzelnen Vokale von sehr ungleicher Bedeutung. Die Vokale mit hohen Formanten *E*, *I*, *Ü*, *Ö*, *Ä* werden in ein tiefes unbestimmtes Brummen umgewandelt, also faktisch vernichtet. *A* wird unter nasalem Klang gegen *O* hin verschoben, wenn nur der Hermannsche und Pippingsche Formant e^2 bis gis^2 ausgelöscht wird; erst Auslöschung auch des höheren Pippingschen Tones (bei *dis*³⁾) vernichtet das *A*. Andererseits läßt Auslöschung des Grundtones und seiner ungeradzahligigen Obertöne das *A* bestehen, vernichtet dagegen das *U*.

Zusammengehalten mit allen übrigen erwähnten Beobachtungen über Vokalklänge scheinen mir die Grützner-Sauberschwarzschen Versuche zunächst zu dem von genannten Autoren schon gezogenen Schlusse zu führen, daß die Verhältnisse bei den verschiedenen Vokalen sehr verschieden liegen und sich z. B. das *A* und das *U* nicht nur durch verschiedene Lage eines Formanten unterscheiden. Daß Formanten im Sinne Hermanns vorhanden und für den Vokalcharakter mitbestimmend sind, daß sie ferner durch periodisches Anblasen des Ansatzrohres zustande kommen, halte ich für klar erwiesen. Andererseits ist aber auch sicher, daß man mit nur einem Formanten für jeden Vokal nicht auskommt, sondern deren mehrere annehmen muß, wie das ja auch schon Helmholtz, Pipping, Hermann und Samojloff getan haben, wofür letzterer für das *I* sogar drei Formanten angibt. Es macht den Eindruck, als ob die einzelnen Formanten bei verschiedenen Individuen und unter verschiedenen Umständen in noch beträchtlich weiteren Grenzen schwanken können, als es die Angaben der Autoren zum Ausdruck bringen, die bestimmte Formanten festgestellt haben. Hierin nähere ich mich also der Auffassung Pippings, dessen „Verstärkungsgebiete“ ja recht umfangreich sind.

Jedenfalls ist die Sachlage lange nicht so einfach, wie man es im Sinne von Helmholtz angenommen hatte (ein festes, von der Grundtonhöhe unabhängiges Verstärkungsgebiet für jeden Vokal), noch auch so einfach, wie es auf Grund der Hermannschen Forschungen zunächst schien (ein fester, von der Grundtonhöhe unabhängiger, aber in der Grundtonperiode frei einsetzender Formant). Für mehrere, wahrscheinlich alle Vokale ist vielmehr eine Mehrzahl von Formanten notwendig, und es weist manches darauf hin, daß nicht so sehr deren absolute Höhenlage (die ja beträchtlich schwanken kann) charakteristisch ist, als ihr relatives Intensitäts-

¹⁾ Verhandl. d. Gesellsch. deutsch. Naturforscher u. Ärzte, Halle 1892. —

²⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 61, 1, 1895.

verhältnis und vielleicht auch der Abstand ihrer Schwingungszahlen voneinander. Auch eine gewisse, allerdings geringere Bedeutung des relativen Intensitätsverhältnisses der einzelnen harmonischen Partialtonschwingungen für manche Vokalklänge ist nicht ganz von der Hand zu weisen.

Das Ansatzrohr im menschlichen Stimmapparat ist nicht so einfach, daß man es als nur auf einen bestimmten Ton abgestimmt betrachten könnte, sondern es gliedert sich, bei den verschiedenen Vokalstellungen verschieden deutlich, in mehrere Teile, die getrennte Abstimmung haben müssen. Am ausgeprägtesten ist das ja beim Vokal *I* mit seinem großen Resonanzraum im Rachen und dem schmalen Schallkanal über der Zunge. Daß der Eigen-ton des letzteren ungefähr mit dem hohen *I*-Formanten zusammenfällt, hat schon Helmholtz betont (s. oben S. 774). Niemand wird aber heutzutage erwarten, daß ein rhythmisch-anaperiodisches Anblasen (im Sinne Hermanns) dieses Resonators einen *I*-Klang erzeuge; gerade die Kombination dieses hohen Formanten mit weit tieferen Tönen, die wahrscheinlich ebenfalls rhythmisch-anaperiodisch entstehen, ist charakteristisch. Dazu kommt möglicherweise noch ein bestimmtes Intensitätsverhältnis der niedrigsten Partialtöne.

Ähnlich kompliziert ist nach meiner Auffassung die Entstehung der anderen Vokalklänge.

Ein Hinweis auf ganz eigenartige, zurzeit noch nicht verständliche Schwierigkeiten liegt darin, daß einerseits der Hermannsche Versuch an der Doppelsirene einen deutlichen *A*-Klang ergibt, obgleich hier nur der eine (Hermannsche) Formant des *A* erzeugt wird, während Grützner und Sauberschwarz die Auslöschung dieses Formanten gerade wenig wirksam fanden und den *A*-Klang nur vernichten konnten, wenn sie auch Schwingungen in dem höheren der beiden Pippingschen Verstärkungsgebiete auslöschten. Sehr zu wünschen wären Auslöschungsversuche an dem Stimmklange einer Person, für die die individuelle Lage der Formanten, nach Hermanns Verfahren bestimmt, bekannt ist.

Ein weiteres, in seiner Bedeutung bisher nicht genügend gewürdigtes Bedenken sehe ich in der tiefen Lage vor allem der *U*-Formanten. Wenn ich ganz absehe von den Angaben von Donders und Helmholtz, die den charakteristischen Ton bei f^1 bzw. f zu finden glaubten, so liegen auch die Hermannschen Formanten und das Pippingsche Verstärkungsgebiet für *U* unterhalb der Tonhöhe, auf die man noch ein sehr klares *U* singen kann. Man wird doch nicht im Ernst behaupten wollen, daß man in der oberen Hälfte der ersten Oktave, z. B. auf g^1 , kein *U* mehr singen könne; nicht einmal für g^2 träfe das zu, und das liegt oberhalb der beiden Hermannschen Formanten. Man müßte aber erwarten, daß die Möglichkeit, ein klares *U* zu bilden, schon unterhalb des unteren, mindestens aber unterhalb des oberen Formanten aufhöre, da sonst in der Periode des Stimmtones nur ein Bruchteil der Formantschwingung auftreten könnte. Es wird also, wie mir scheint, unabweisbar, die Formanten in gewissem Maße verschieblich anzunehmen¹⁾ und nicht nur die absolute Höhe des einzelnen, sondern auch

¹⁾ Zum gleichen Schlusse kommt, wie mir scheint, auch Hensen (Berichte d. 5. intern. Physiol.-Kongr. Turin 1901. Zentralbl. f. Physiol. 1901, S. 483). Die Mundtöne für die Vokale „variieren in einer gewissen Breite und schmiegen sich der Stimmnote an, so daß Hebung des Kehlkopftones auch Hebung des Resonanztones zur Folge hat“.

das Stärkeverhältnis der einzelnen, ihren Abstand voneinander oder ihre Lage zu den Partialtönen als wichtig zu betrachten.

Zuzugeben ist, daß an der Grenze der zweiten und dritten Oktave die Klarheit der Vokalbildung für die Mehrzahl der Vokale (am wenigsten für *I*) leidet, aber von einem wirklichen Aufhören des Vokalcharakters in dieser Region ist noch nicht zu reden.

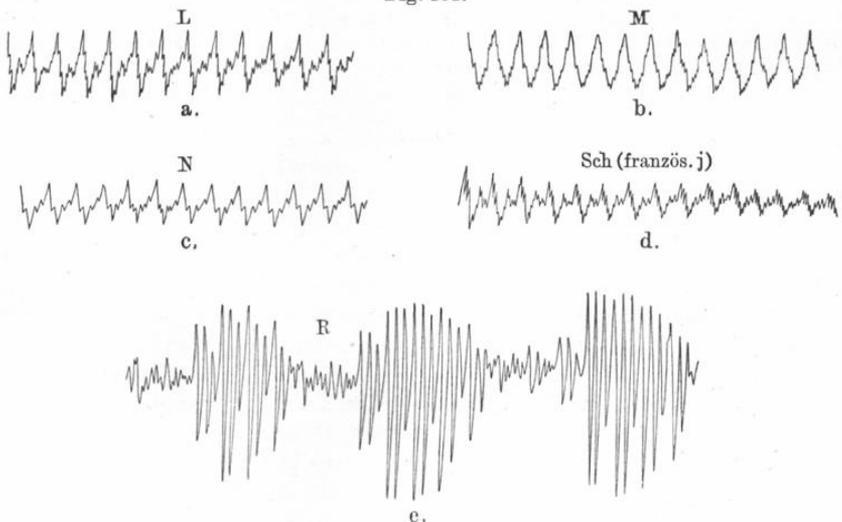
Bei dieser Sachlage kann die Entstehung der Vokale noch nicht als hinlänglich geklärt bezeichnet werden. Die Ergebnisse der Forschungen von Donders, Helmholtz, Hermann und Pipping werden aber meiner Überzeugung nach die Grundlage der Vokaltheorie bilden, die unter Verwertung der von diesen Forschern geschaffenen Untersuchungsverfahren uns gestattet wird, auch über die jetzt noch bestehenden Klippen hinwegzukommen.

5. Der akustische Charakter der Konsonanten.

Über die akustische Natur der als Konsonanten bezeichneten Stimmlaute bleibt wenig zu bemerken. Für ihre Analyse gilt dasselbe, was für die Vokale zu sagen war.

Graphische Aufnahmen von phonischen Dauer- und Zitterlauten hat zuerst Wendeler mit Hensens Phonautograph gemacht; dann folgten

Fig. 132.



Phonographische Kurven (nach Hermann) für die fünf phonischen Konsonanten *L*, *M*, *N*, *Sch* (franz. *j*), *R*. Alle Laute sind auf den Ton *e* gesungen.

phonographische Aufnahmen von Hermann und einige hier nicht näher zu berücksichtigende Angaben von Pipping und von Zwaardemaker¹⁾.

Die „Halbvokale“ *L*, *M*, *N*, *Ng*, sowie die mit Stimme gebildeten („phonischen“) Konsonanten *W*, *S*, *J* (französisch) usw. ergeben Kurvenbilder, die denen der Vokale ähnlich sind. Insbesondere das *L*, das ja auch genetisch

¹⁾ Ned. Tijdschr. v. Geneesk. 1898 und Arch. néerlandaises 2 (2 Sér.) 1898.

dem *I* verwandt ist, gibt sehr ähnliche Kurven, in denen auf die Grundton- und erste Obertonschwingung aufgesetzte kleine Zäckchen einen hohen Formanten erkennen lassen. Sehr kompliziert ist die *R*-Kurve, die ebenfalls einen oder zwei hohe Formanten erkennen läßt und deren Wellen entsprechend der rhythmischen Öffnung und Schließung des Stimmkanals schwebungsartig zu- und abnehmen.

Die Intermission der Grundtonschwingung fand Hermann bei sehr scharfem Zungen-*R* vollständig, bei seinem eigenen Zungen-*R* eine Remission der Amplitude auf $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$, bei seinem Zäpfchen-*R* $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{11}$. Wendeler gab an, *R* zwischen zwei Vokalen drücke sich in der Kurve dadurch aus, daß zunächst die Kurve des vorausgehenden Vokals oszillierend werde und dann die des nachfolgenden oszillierend eintrete, um dann in die typische Kurve dieses zweiten Vokals überzugehen. Nach Hermanns Befunden sind nur am Anfang und Schluß des *R*-Lautes Übergangsformen zwischen Vokal- und *R*-Kurve zu sehen, dazwischen aber tritt die typische *R*-Kurve mit ihren eigenen charakteristischen Tönen auf.

Auch in den aphonischen Dauergeräuschen, den Reib- und Zischlauten *F*, *Ch*, *Sch*, *Ss*, lassen sich bestimmte Schwingungszahlen teils direkt durch Auszählen, teils durch systematische Kurvenanalyse bestimmen. Sie sind nebst den Formanten der phonischen Konsonanten aus der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6.

Die ungefähre Lage der festgestellten charakteristischen Töne bei Konsonanten, nach Hermann (Genauerer in der Originalarbeit).

Phonisches	<i>L</i>	$cis^3 - fis^3$.
"	<i>M</i> {	$(e^2 - gis^2, e^3 - fis^3), h^3 - cis^4$.
"	<i>N</i> }	
"	<i>R</i>	h^3 , 2. Teil der 3. Oktave, Anfang der 4. Oktave.
"	<i>W</i>	$(fis^3 - ais^3), c^4 - d^4$.
"	<i>S</i>	$b^3, c^4 - e^4$ und wahrscheinlich ein noch höherer Ton.
"	<i>Sch</i> (<i>J</i> franz.)	$ais^3 - h^3, cis^4 - f^4$.
"	<i>J</i> (<i>Jot</i>)	$c^4 - e^4$.
Aphonisches	<i>F</i>	$f^3 - g^3, a^3 - c^4$.
"	<i>S</i> (<i>Ss</i>)	$gis^3 - h^3, g^4$.
"	<i>Sch</i>	$h^3 (b^3 - c^4)$.
"	vorderes <i>Ch</i>	des^3, d^4, f^4 .
"	hinteres <i>Ch</i>	$b^2 - des^3, e^3 - f^3$.

In den Reibelauten hört man auch direkt gewisse hohe Töne heraus, deren Tonhöhe sich durch Vergleich mit angeblasenen sehr kleinen Pfeifchen feststellen läßt. Sie sind zum Teil mit den durch Auszählung ermittelten identisch.

Die Blählaute¹⁾ von *B*, *D*, *G* zeigen ebenfalls Zäckchen auf die Stimmperiodik aufgesetzt. Endigt ein Wort mit weichem *B*, *D* oder *G*, so tritt ein kurzer Vokalklang auf mit Formanten bei g^3 bis a^3 bzw. h^3 bis c^4 , also etwa zwischen *Ö* und *I*.

Das hintere *Ch* (wie in *Ach*) zeigt schwebungsartigen Charakter der Kurve, mit einer Periodik von 30 bis 40 pro Sekunde, erinnert also an die

¹⁾ Hermann spricht von „phonischen Explosivlauten“. Da der Blählaut die Media wohl begleiten kann, aber nicht muß, vermeide ich diese Bezeichnung.

R-Bilder (Wendeler, Hermann). Bekanntlich wird dialektisch ja auch das gutturale *R* oft geradezu einem *Ch* gleichklingend.

Von einem „stimmhaften *H*“ spricht E. A. Meyer¹⁾, der ähnlich wie Rousselot²⁾ die Erschütterungen des Kehlkopfes durch Luftübertragung mit einer kleinen Schreibkapsel registrierte. Wenn auch zugegeben werden kann, daß ein flüchtiges *H* zwischen zwei Vokalen mit einiger Erschütterung des Kehlkopfes verbunden sein mag, so folgt daraus doch noch lange nicht die Berechtigung, von einem stimmhaften *H* zu sprechen; gerade so gut könnte man die Schwingungen der Bronchien bei der Atmung als Stimmlaute bezeichnen.

¹⁾ Die neueren Sprachen 8, 5, 1900. — ²⁾ Principes de phonétique expérimentale, Paris 1901.