

(Aus dem psychologischen Institut der Universität zu Berlin.)

Experimentelle Untersuchungen zur Bezoldschen Sprachsext.

Von

WALTER FRANKFURTHER und RUDOLF THIELE.

Nachdem HELMHOLTZ und seine Vorgänger die Vokale ihrer Tonhöhe nach bestimmten Stellen des Tonbereiches zugeordnet hatten, nachdem dann OSKAR WOLFF und später HERMANN versucht hatten, auch für die Konsonanten fest umschriebene Strecken der Tonskala zu bestimmen, mußte die Frage nahe liegen, ob denn für das Verständnis der menschlichen Sprache, soweit es rein akustisch bedingt ist, die ganze Hörstrecke, welche die festgestellten Eigentöne der Sprachlaute umfaßt, erforderlich sei, oder ob gröfsere Teile derselben ausfallen könnten, ohne dafs diese wichtigste Tätigkeit des menschlichen Gehörorgans beeinträchtigt wird. Die physiologische Herabsetzung der oberen Hörgrenze im Alter läfst das von jenen Autoren festgestellte Gebiet frei und verläuft denn auch, in völliger Übereinstimmung mit den theoretischen Feststellungen, ohne Schädigung des Sprachverständnisses. Erheblichere Einengungen des Hörbereiches oder Unterbrechungen der Kontinuität der Hörstrecke, sogenannte Tonlücken, finden sich nur bei unvollständig Taubstummen, d. h. bei Personen, die auf Grund noch vorhandener Hörreste Gehör für Vokale und einzelne Worte, in seltenen Fällen sogar für kurze Sätze besitzen, deren Hörfähigkeit aber den Forderungen des menschlichen Verkehrs, wenigstens ohne weitere Ausbildung, nicht genügt. An solchen Personen mußte es sich also zeigen, welche Teile der Skala für das Verständnis der Sprache notwendig,

welche entbehrlich sind. F. BEZOLD¹ war der erste, der mit Hilfe seiner kontinuierlichen Tonreihe solche Untersuchungen anstellte und das Hörvermögen der Taubstummen mit Rücksicht auf das Perzeptionsvermögen für die verschiedenen Teile der Tonskala systematisch prüfte. Diese Untersuchungen führten ihn zu dem Ergebnis: „Unbedingt notwendig für das Verständnis der Sprache ist nur die Perzeption der von den Tönen b'—g'' inkl. umfaßten Strecke in der Tonskala; ferner müssen die innerhalb dieses Intervalls gelegenen Töne bereits bei einem mittleren Grade von Intensität zur Perzeption des Ohres gelangen können; wenn die Hördauer für dieselben unter ein gewisses Niveau herabsinkt, so wird sie ungenügend für das Sprachverständnis. Wo das Gehör für das hier umgrenzte Stück der Tonskala verloren gegangen ist, findet sich durchgängig auch das Gehör für die Sprache verloren.“

Zu diesem Ergebnis gelangte BEZOLD, indem er an Insassen der Taubstummenanstalten, die offenbare Defekte in verschiedenen Teilen der Tonskala besaßen, dabei aber gutes Verständnis für die Sprache zeigten, mittels der kontinuierlichen Tonreihe feststellte, wie weit sich diese Ausfälle von oben oder von unten her gegen die Mitte des Tonbereiches hin erstreckten. Zeigte sich nun etwa bei einer seiner sprachhörenden Versuchspersonen ein Ausfall, der von oben her bis nach c² reichte, so mußten die oberhalb von c² liegenden Töne für das Sprachverständnis unwesentlich sein, da ja die vorhandene Hörstrecke dasselbe völlig gewährleistete. Auf diese Weise schränkte er durch umfangreiche Untersuchungen an dem Material des Zentral-Taubstummeninstituts in München die nach seiner Meinung für das Zustandekommen des Sprachverständnisses unbedingt notwendige Hörstrecke von oben und unten her sukzessive ein und gelangte so zu der oben bezeichneten Sext als der allen seinen Vpn. gemeinsamen Hörstrecke.

BEZOLD fand also nicht etwa in einem einzelnen Falle eine von b¹—g² reichende Toninsel bei sonst aufgehobenem Hörvermögen, die das Sprachverständnis allein ermöglicht hätte, oder umgekehrt eine sich auf dies Gebiet beschränkende Tonlücke, die das Sprachverständnis aufgehoben hätte; seine sprachhörenden

¹ F. BEZOLD. Das Hörvermögen der Taubstummen. Wiesbaden 1896. Seite 121.

Vpn. verfügten vielmehr über ein weit größeres, wenn auch in jedem Falle verschiedenes, Hörgebiet, und die Defekte der Nichthörenden umfaßten neben jenem Gebiet eine weit größere Mannigfaltigkeit von Tönen. Die Sext b^1-g^2 bezeichnet eben nur die sämtlichen sprachhörenden Vpn. gemeinsame Hörstrecke und stellt zugleich natürlich, wenn von zentralen Hörstörungen abgesehen wird, den allen nicht sprachhörenden Taubstummen gemeinsamen Defekt dar, der aber bei den BEZOLDSchen Vpn. sich nicht auf diese Strecke beschränkt, sondern wesentlich mehr Töne umfaßt.

Wenn ein Ausfall von Tönen in den oberen Teilen der Tonskala für das Sprachverständnis gleichgültig sein sollte, solange noch gutes Gehör für die tieferen Töne vorhanden ist, so ist es doch nicht ohne weiteres selbstverständlich, daß ein solcher Ausfall ohne Bedeutung für das Sprachverständnis bleibt, wenn das Hörvermögen auch unterhalb der Sprachsext aufgehoben ist. Daß außer den Tönen, die in das Gebiet der Sext fallen, auch noch andere für das Verständnis der Sprache in Betracht kommen, könnte eigentlich BEZOLD im Hinblick auf die HELMHOLTZsche Hörtheorie, die er durch seine Untersuchungen stützen zu können glaubte, und mit der er sich in Übereinstimmung fühlt, nicht in Abrede stellen. Seine Behauptung könnte eigentlich nur dahin gehen, daß die Sext b^1-g^2 eine ausgezeichnete Stelle in der ganzen für das Sprachverständnis in Betracht kommenden Tonreihe darstellt, so daß ihr Ausfall die Funktion aufhebe. Die Sext würde also eine notwendige Bedingung für das Zustandekommen des Sprachverständnisses bilden. Daß das Hörvermögen für diese Sext aber auch zugleich die ausreichende Bedingung des Sprachverständnisses für ihn darstellte, geht deutlich aus folgender Stelle des gleichen Buches hervor:¹ „Alle anderen Strecken [als die große Sext b^1-g^2] können ausfallen und fehlen in Wirklichkeit um so häufiger, je mehr sie sich von dem hier umgrenzten kleinen Bezirk der Tonskala entfernen.“

Dieses Ergebnis mußte in Erstaunen setzen, da sich nach den oben erwähnten Untersuchungen die charakteristischen Eigentöne bzw. Formanten der Sprachlaute über ein weit größeres Gebiet der Tonreihe erstrecken und z. T., was für manche Vo-

¹ l. c. Seite 120. Im Original nicht gesperrt.

kale besonders auffallend ist, garnicht in die Sext hineinfließen. Durch einen Ausfall dieser Sext können also keineswegs alle oder auch nur die Mehrzahl der Vokale betroffen werden; und da dasselbe auch für die Konsonanten gilt, erscheint es unwahrscheinlich, daß durch einen so geringen Ausfall das Sprachverständnis völlig aufgehoben werden sollte, wenn man natürlich Fälle von Worttaubheit, also zentralen Ursprungs, ausschaltet. Für die Vokale schien es BEZOLD zu genügen¹, daß die Sext „ziemlich genau in die Mitte derjenigen Tonstrecke fällt, welche in sich die Eigentöne der Vokale einschließt, nämlich der Strecke f—d⁴ (nach HELMHOLTZ)“, und er glaubte in den HERMANNschen Untersuchungen eine Bestätigung für seine Ergebnisse zu finden², da nach diesen wenigstens ein Formant für jeden Vokal annähernd in das kritische Gebiet fallen sollte.

Allerdings ist BEZOLD zuzugeben, daß ein Erfassen jedes einzelnen Sprachlautes für das Verständnis sinnvoller Sprache nicht erforderlich ist, so daß einzelne Laute ausfallen könnten, ohne das Sprachverständnis wesentlich zu schädigen. Ob aber die ihrer Tonhöhe nach ganz oder zum Teil in die fragliche Sext hineinfließenden Sprachlaute, zu denen BEZOLD also auch, aus dem oben angeführten, aber wenig stichhaltigen Grunde alle Vokale rechnet, allein für das Sprachverständnis genügen, muß dahingestellt bleiben und zum mindesten zweifelhaft erscheinen. Andererseits scheint uns für diejenigen Vokale, die ihrer Tonhöhe oder einem ihrer Formanten nach aus der Sext herausfallen, die Perzeptionsmöglichkeit nicht dadurch gewährleistet zu sein, daß die Sext in der Mitte der sämtliche Vokale umfassenden Tonstrecke liegt, bzw. daß nur ein Formant in die Sext fällt.

Schien also die BEZOLDSche Lehre schon hier gewisse Schwierigkeiten zu bieten, so werden diese noch dadurch vermehrt, daß BEZOLD später selbst bei einer Untersuchung einer zweiten Serie von Taubstummten³ einen Fall fand, bei dem der Defekt in dem unteren Teil der Tonskala noch mit drei halben Tönen in die Sext hineinreichte und der dabei doch gutes Sprachverständnis für alle Zahlwörter zeigte. Hätte sich dieser Fall bereits in der ersten Serie der von BEZOLD untersuchten Taubstummten befunden,

¹ l. c. Seite 122.

² l. c. Seite 128.

³ BEZOLD F. Die Stellung der Konsonanten in der Tonreihe, *Zeitschr. für Ohrenheilkunde* 30 (1897), S. 114.

so hätte BEZOLD nach der Art, in der er bei seinen Taubstummen die gemeinsame, für das Sprachverständnis notwendige Hörstrecke feststellte, zu einer „Sprachquart“ gelangen müssen. Jedenfalls gibt BEZOLD in seiner späteren Arbeit keinen Grund an, warum er nicht mit Rücksicht auf diesen Befund seine Theorie entsprechend modifiziert hat. Es besteht demnach die Möglichkeit, daß durch einen weiteren Fall, bei dem bei erhaltenem Sprachverständnis der Ausfall noch weiter in die Sext hineinreicht, das „für das Sprachverständnis unbedingt notwendige Gebiet“ noch weiter eingengt werde.

Die BEZOLDSche Behauptung ist aber bisher in der Literatur unwidersprochen geblieben. Noch 1903 hebt BEZOLD¹ hervor: „Diese Beobachtung hat auch von sämtlichen Autoren Bestätigung gefunden, welche seitdem Untersuchungen an Taubstummen mit der kontinuierlichen Tonreihe angestellt haben.“ SCHWENDT und WAGNER², WANNER³, DENKER⁴, die sich mit ähnlichen Untersuchungen beschäftigten, heben wenigstens hervor, daß ihre Taubstummen mit Sprachgehör über diese Sext (und noch mehr!) verfügten, oder daß diejenigen ohne Sprachgehör diesen (und noch einen größeren!) Defekt zeigten. Das BEZOLDSche Buch ist in den bayrischen Taubstummenanstalten zum offiziellen Gebrauch eingeführt, und BEZOLD selbst sieht die Bedeutung seiner Festlegung der Sprachsext darin, daß diese „das wesentliche Fundament bei unserer Auswahl der Kinder für den Unterricht vom Ohr aus“ bildet.⁵ In seiner letzten Veröffentlichung schreibt BEZOLD⁶: „Wo die Stimmgabeln dieser Strecke [b¹—g²] gar nicht oder nur eine sehr kurze Zeit nach stärkstem Anschlag perzipiert werden konnten, da waren die Kinder, selbst wenn sie nach auf-

¹ BEZOLD: Über die funktionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans, Bd. 2 (1903), S. 171.

² SCHWENDT und WAGNER: Untersuchungen von Taubstummen. Basel 1899, Verlag Schwabe.

³ F. WANNER: Hördauerbestimmungen für die Tonreihe bei hochgradiger Schwerhörigkeit bzw. Taubheit für die Sprache. Verh. der 71. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu München 1894.

⁴ A. DENKER: Die Taubstummen der Westfälischen Provinzial-Taubstummenanstalt zu Soest. *Zeitschr. für Ohrenheilkunde* 36 (1900), S. 78.

⁵ F. BEZOLD: Statistischer Bericht über die Untersuchungsergebnisse einer zweiten Serie von Taubstummen. *Zeitschr. für Ohrenheilkunde*. 36 (1900) S. 1.

⁶ BEZOLD: Lehrbuch der Ohrenheilkunde. Wiesbaden 1906. S. 82.

wärts und nach abwärts von dieser Strecke noch umfangreiche Hörreste besaßen, doch durchgängig unfähig, die Sprache genügend zu perzipieren, um sie vom Ohre aus zu erlernen. Dagegen konnte bei sonst normaler geistiger Veranlagung aus dem Vorhandensein eines relativ guten Gehörs (Hördauer von über 10 %) für diese kleine Strecke der Tonreihe mit Sicherheit auch auf eine spätere Erlernung der Sprache auf dem natürlichen Wege durch das Ohr geschlossen werden.“

Die Theorie ist also ohne Zweifel zu einer beträchtlichen praktischen Bedeutung gelangt. Da sie sich weder aus den Taubstummenuntersuchungen einwandfrei ergeben hat, noch sich aus den bisher bestehenden Theorien und Feststellungen über die Höhe der Sprachlaute ableiten läßt, erschien es bei der Wichtigkeit der Frage wünschenswert, die BEZOLD'sche Behauptung unabhängig von allen Theorien einer direkten experimentellen Nachprüfung zu unterwerfen. Es mußte sich also darum handeln, diesen Defekt, den BEZOLD niemals in einem Falle verwirklicht fand, sondern auf statistischem Wege aus seinen Beobachtungen hergeleitet hat, experimentell herzustellen. Da es natürlich unmöglich ist, an dem perzipierenden Organe der Versuchspersonen entsprechende Bedingungen herzustellen, mußten bereits in der Luft die in das Gebiet der Sext fallenden Töne vernichtet werden. Das konnte durch die bekannte Interferenzmethode (QUINCKE, NÖRREMBERG, GRÜTZNER, SAUBERSCHWARZ) erreicht werden. Für unsere Zwecke mußten aber nicht nur einzelne Töne, sondern Tonbezirke ausgelöscht werden. Da der Ausfall bei einer bestimmten Einstellung der Interferenzröhren sich natürlich nicht auf den theoretisch zu erwartenden Ton beschränkt, sondern für das Gehör auch Töne ausgelöscht werden, deren Wellenlänge innerhalb gewisser Grenzen von der des eingestellten Tones abweicht, gelingt es durch Aneinanderreihung genügend vieler verschieden langer Interferenzröhren auch Tonstrecken auszuschalten.

Wir benutzten eine Hörleitung von ca. 7 m Länge, die durch zwei Zimmer, d. h. durch drei Wände hindurchging. Hinter der ersten Wand waren zwei Rahmen mit 16 Interferenzröhren eingeschaltet, wie sie ähnlich von GRÜTZNER und SAUBERSCHWARZ¹ verwendet worden sind. Da natürlich der Hörschlauch nicht direkt an das Ohr der Vp. gebracht werden darf, damit eine

¹ E. SAUBERSCHWARZ: Interferenzversuche mit Vokalklängen. *Pflügers Archiv* 61 (1895), S. 1.

Schalleitung durch die Schlauchwandung vermieden werde, die allerdings nach den Feststellungen von H. J. WOLFF¹ sehr gering ist, andererseits die Entfernung des Ohres von der Schlauchöffnung natürlich konstant bleiben muß, was nur durch Fixierung des Ohres der Vp. gewährleistet wird, so haben wir die Vp. das Ohr unmittelbar an die Schlauchöffnung halten lassen und dafür die Schlauchleitung durch eine Luftstrecke von ca. 2 cm Länge unterbrochen. Die Wände waren vollkommen schalldicht, so daß eine andere Übertragung als durch die Röhrenleitung nicht stattfand.

Der unterste Ton der Sprachsext hat eine Wellenlänge von 0,716 m, der oberste Ton eine Wellenlänge von 0,426 m. Daraus ergibt sich die erforderliche Länge des Interferenzrohres, die bei der Anordnung von GRÜTZNER gleich ein Viertel der Wellenlänge ist, von 17,9 und 10,7 cm. Durch Versuche stellten wir fest, daß es für die Auslöschung der in die Sext fallenden Töne genügte, wenn die erste Röhre auf 17,5, die letzte auf 10,5 cm ausgezogen wurde und zwischen beiden bei jedem weiteren halben Ton eine weitere Röhre eingeschaltet wurde, so daß also im ganzen 15 Röhren notwendig waren. Die Einschaltung dieses Röhrensystems bedingt aber nicht nur die Auslöschung der Töne b^1 — g^2 , sondern bewirkt gleichzeitig durch die Verlängerung der Hörleitung um 210 cm eine Herabsetzung der Schallintensität. Um diesen Einfluß seiner Größe nach abschätzen zu können, haben wir in einer besonderen Versuchsreihe die verwendeten 15 Röhren sämtlich auf 14 cm ausgezogen und damit die Röhrenleitung um eben den Betrag von 210 cm verlängert, ohne aber damit die Töne der Sprachsext auszulöschen. Allerdings löschten wir dadurch auch den der Viertelwellenlänge 14 cm entsprechenden Ton d^2 aus; dieser Ausfall ist aber nur gering, und außerdem entspricht diese Anordnung den obigen Verhältnissen mehr, als wenn wir die Verlängerung durch die Einschaltung eines Schlauchstückes von 210 cm Länge bewirkt hätten.

Außerdem hat aber die Ausschaltung von Tönen durch Interferenzröhren den großen Nachteil, daß ja nicht nur die berechneten Grundtöne, sondern auch sämtliche ungradzahligen

¹ H. J. WOLFF: Monochord- und Stimmgabeluntersuchungen zur Klärung der Beziehungen zwischen Luft- und Knochenleitung bei Normal- und Schwerhörigen. *Passows und Schaefers Beiträge zur Anatomie, Physiologie, Pathologie und Therapie des Ohres, der Nase und des Halses* 5, 2 (1912), S. 31.

Obertöne mit ausgelöscht werden. Es werden also mehr Töne als die Töne der Sprachsext ausgelöscht bzw. stark beeinträchtigt, in unserem Falle etwa alle Töne von f^3 an aufwärts, so daß eine Aufhebung des Sprachverständnisses durch diese Interferenz wegen des Ausfalls in den oberen Teilen der Tonskala noch nicht unbedingt für die BEZOLDSche Lehre beweisend gewesen wäre. Um so mehr aber mußte es einen Beweis gegen die BEZOLDSche Behauptung bilden, wenn trotz der zu der ausgelöschten Sext in den oberen Teilen der Tonskala hinzukommenden Lücke das Sprachverständnis erhalten blieb.

Um ferner festzustellen, ob die Sext b^1-g^2 tatsächlich eine Sonderstellung in dem gesamten Tonsystem einnehme, haben wir noch eine zweite Sext c^1-a^1 durch Einstellung der Röhren auf 32—19 cm mit je einem cm Abstand ausgeschaltet. Wir wählten gerade diese Sext, weil die durch ihre Ausschaltung gleichzeitig mit ausgelöschte Obertonreihe erst oberhalb der BEZOLDSchen Sext beginnt, während sie mit ihrem oberen Teile nicht mehr in die Sprachsext hineinreicht. Von der Wirksamkeit der Interferenzen überzeugten wir uns gemäß STUMPF'S¹ Vorschrift dadurch, daß Schwebungen zweier ein wenig gegeneinander verstimmtten Stimmgabeln, die in das kritische Gebiet gehörten, vollständig verschwanden, wenn sie an die beiden entgegengesetzten Schlauchenden gebracht wurden.

Bei allen diesen Interferenzen trat nun keineswegs eine Aufhebung des Verständnisses sinnvoller Rede ein. Durch die Ausschaltung der Sprachsext wurde allerdings eine wesentliche Herabsetzung der Schallintensität bewirkt, und damit das Verständnis einigermaßen erschwert. Doch wurde diese Verminderung durch Ausschaltung der tieferen Sext noch beträchtlicher, wobei die Sprache sich auch qualitativ veränderte und einen „blökenden“ Charakter annahm. Einzelne sinnvolle Worte außerhalb eines Satzzusammenhanges wurden bei Auslöschung der Sprachsext immer, bei Auslöschung der tieferen Sext in der Regel noch gut verstanden.

Um der Vp. die Möglichkeit zu nehmen, auf Grund der aufgefaßten Wortelemente das ganze sinnvolle Wort zu erschließen (eklektische Kombination, GUTZMANN), haben wir dieselben Ver-

¹ C. STUMPF: Beobachtungen über Kombinationstöne. *Diese Beiträge* 5 (1910), S. 31 unten, vgl. S. 21.

suche mit sinnlosen Wörtern angestellt, denen gegenüber sich die Vp. in dem Zustande des geborenen Taubstummen befindet, der die Worte, die er auffassen soll, auch noch nicht kennen gelernt hat. Diese Wörter waren zweisilbig und nach dem Typus der folgenden Beispiele gebaut: dawüz, bömip, wijeich, solak, teinär, zuköl usw. Hier wurden natürlich auch Versuche angestellt, bei denen keine Interferenzröhren eingeschaltet waren, damit sich zeige, wie weit das Sprachverständnis allein durch die lange Hörleitung erschwert wird.

Auch hier zeigte sich in zwei orientierenden Versuchsreihen, daß bei Ausschaltung der Sprachsext ein wesentlicher Teil der Sprachlaute richtig verstanden wurde, daß aber schließlic bei jeder Anordnung Fehler vorkamen. Diese Fehler waren bei Ausschaltung der tieferen Sext am zahlreichsten, jedenfalls häufiger als bei Auslöschung der Sprachsext; sie fehlten aber auch keineswegs bei Stand der Röhren auf 14 cm und selbst bei völliger Ausschaltung der Röhren aus dem Schalleitungssystem, also bei größter Schallintensität. Da aber verschiedene Laute verschieden stark beeinflusst zu sein schienen und man hoffen durfte, hier also etwaige spezifische durch die Interferenz bedingte Schädigungen einzelner Sprachlaute feststellen zu können, so haben wir noch eine neue Versuchsreihe durchgeführt.¹ Bei dieser Versuchsreihe haben wir einen gehörigen Wechsel in den Anordnungen der Interferenzen eintreten lassen, um die bei den ersten beiden Versuchsreihen aufgetretenen Übungsphänomene mit ihrer Beeinflussung des Resultats auszuschalten, durch die die ersten beiden Versuchsreihen für diesen besonderen Zweck quantitativer Bestimmungen ungeeignet wurden. Wir haben bei dieser, wie auch bei den ersten beiden Versuchsreihen, festgestellt, wie oft jeder Buchstabe richtig verstanden wurde und wie oft er mit anderen Buchstaben verwechselt worden ist. Diese Werte wurden in Prozenten in Tabellen dargestellt. Wir haben dabei für die Konsonanten Anlaut, Mittellaut und Auslaut unterschieden, da der Konsonant, je nach seiner Stellung am Anfang oder Ende des Wortes oder zwischen zwei Vokalen, wegen des auftretenden Gleitlautes seinen Charakter etwas ändert. Für die Vokale war

¹ Unsere Vpn. waren für die endgültigen Versuche Herr Dr. med. HIRSCHFELD, Herr cand. phil. LEWIN und Herr cand. phil. LIEBENBERG. Alle Vpn. hatten natürlich normales Hörvermögen. Wir sprechen ihnen für ihre Mühe auch hier unseren besten Dank aus.

gleichfalls eine Trennung nach erster und zweiter Silbe nötig, da bei unseren zweisilbigen sinnlosen Wörtern der Vokal in der ersten Silbe geschlossen, in der zweiten offen ausgesprochen wurde.

Wir werden in der Folge die vier Versuchsanordnungen folgendermaßen bezeichnen:

- Ausschaltung aller Interferenzröhren: 1. Anordnung;
 15 Röhren sind auf 14 cm ausgezogen: 2. Anordnung;
 die Sprachsext b^1-g^2 ist ausgelöscht: 3. Anordnung;
 die Sext c^1-a^1 ist ausgelöscht: 4. Anordnung.

Aus der großen Zahl der Tabellen teilen wir, um Raum zu ersparen, nur eine für den Anlaut in der dritten Anordnung als Beispiel mit.

Wir haben aus später anzugebenden Gründen unsere Betrachtungen im wesentlichen auf die Konsonanten beschränkt. Aus den Tabellen, von denen wir nur die eine mitgeteilt haben (Tabelle 1), geht hervor, daß die Streuung der Werte bei Ausschaltung der tieferen Sext am beträchtlichsten ist und deutlich die bei Ausschaltung der Sprachsext, übertrifft. Aber auch bei Einstellung der Röhren auf 14 cm und selbst bei gänzlicher Ausschaltung der Interferenzröhren sind Fehler vorgekommen, was sich z. T. aus der langen Röhrenleitung erklärt. Das richtige Verstehen hat nach den Tabellen in der oben aufgestellten Reihenfolge der vier Anordnungen abgenommen. Wir haben die sich aus den Tabellen ergebenden Werte richtiger Perceptionen für Anlaut, Mittellaut und Auslaut und dann noch einmal in Durchschnittszahlen für diese drei Stellungen zusammen in den Kurven 1—4 dargestellt, in denen sich die ausgezogene Linie auf die erste Anordnung, die gestrichelte auf die zweite, die punktierte auf die dritte und die strich-punktierte auf die vierte Anordnung bezieht.

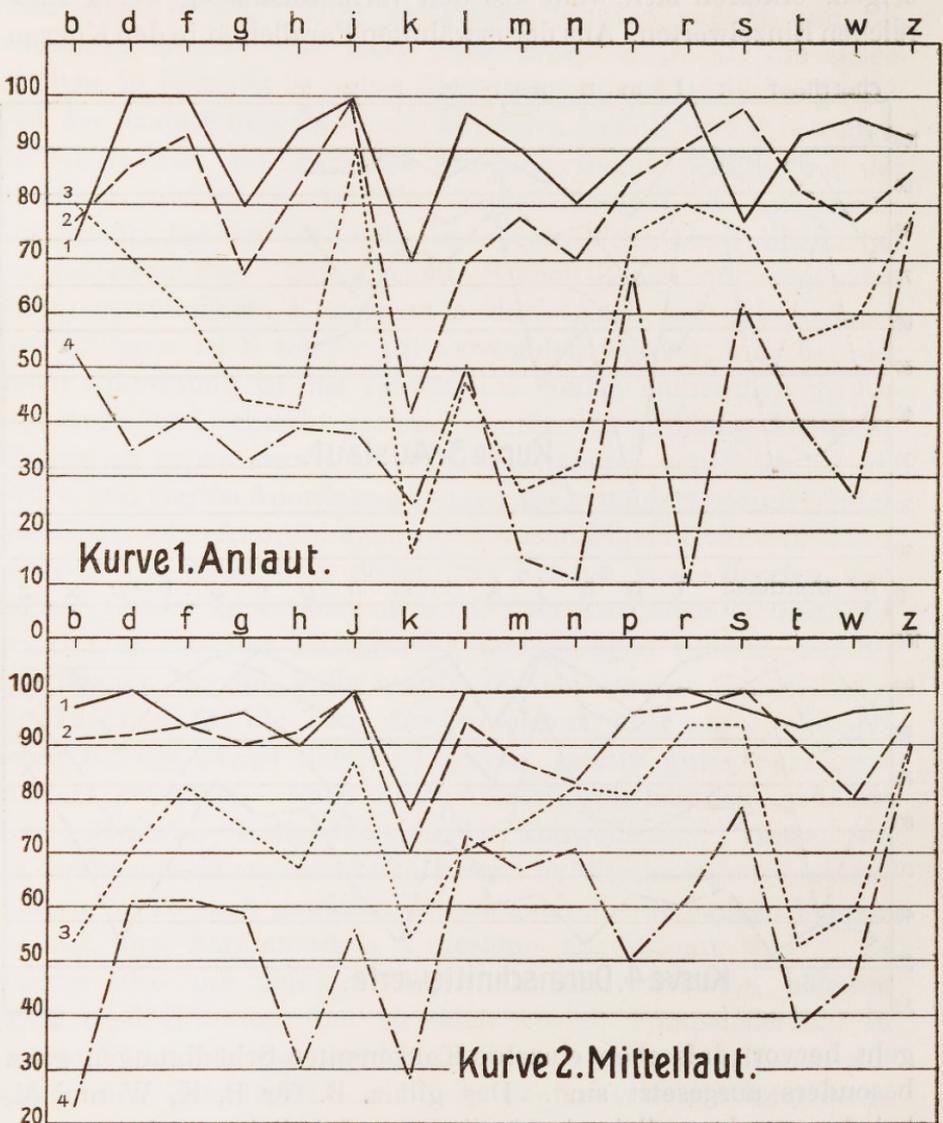
In diesen Kurven ist bemerkenswert, daß die vier Linien von wenigen Ausnahmen abgesehen, untereinander verlaufen ohne sich zu überschneiden. Eine gewisse Parallelität ist sogar auch in dem Sinne vorhanden, daß einem schon in der ersten ausgezogenen Linie niedrigen Werte auch in den folgenden verhältnismäßig niedrige Werte entsprechen. Besonders deutlich ist das für die Kurve 4, die die Durchschnittszahlen wiedergibt und sich also auf zahlreichere Werte als die drei ersten Kurven stützt. Aus diesen

Tabelle I.
3. Anordnung. Anlaut.

Vp. LEWIN.

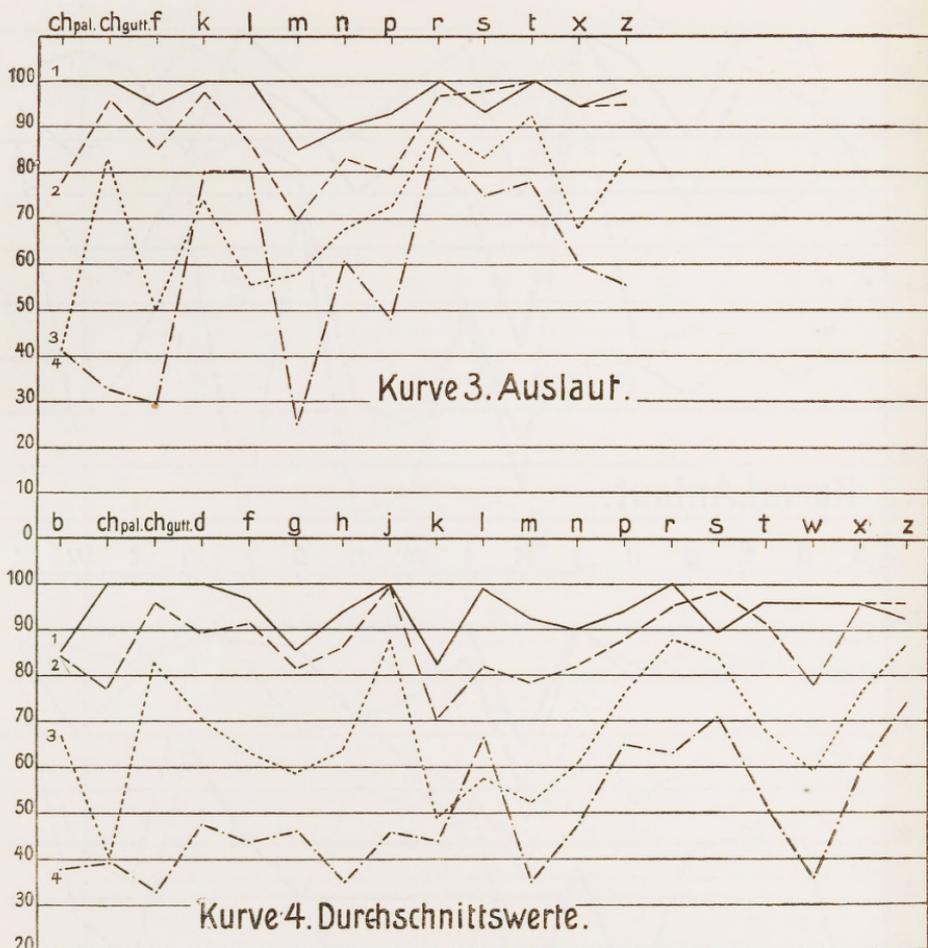
gesprochen	gehört																
	b	d	f	g	h	j	k	l	m	n	p	r	s	t	w	z	0
b	79,5	5,9		5,9	2,9		2,9										
d	7,4	70,4		14,8		3,7									6,7	13,4	
f	3,3		60,0														
g	37,5	12,5		43,8	3,1												
h	6,9	3,4		6,9	41,5		6,9								10,3		
j	3,4			3,4	3,4	89,8											
k	6,7			3,3			16,7										
l		15,6			9,4		46,8							10	3,3		
m	42,4			3,0	6,1	3,0		27,3							3,1		
n	14,3	28,6		3,6	7,1		3,6								9,1		
p	11,8	2,9			2,9				2,9						7,1		
r		3,3				3,3		3,3									
s		3,6		3,6									75		6,7		7,1
t		3,6			3,7									55,6	3,7		
w	10,3	10,3			13,9	3,4							3,4		58,7		
z			3,8										7,7				88,5

Kurven geht deutlich hervor, daß von der ersten bis zur vierten Anordnung fortschreitend eine immer gleichmäßig wachsende Schädigung aller Konsonanten stattgefunden hat und keineswegs etwa in einer bestimmten Anordnung Schädigungen bestimmter



Konsonanten aufgetreten sind, die sich bei anderen Anordnungen nicht, wenn auch in anderem Grade, wiedergefunden hätten. In der Durchschnittskurve bildet nur L für die dritte und S für die zweite Anordnung eine Ausnahme. Die Abweichung von S kommt insofern nicht in Betracht, als in der ersten und

zweiten Anordnung eine Interferenzwirkung nicht in Frage kommt. Für L müssen wir es dahingestellt sein lassen, ob hier vielleicht durch die Interferenz eine spezifische Veränderung gesetzt worden ist. Die wenigen Ausnahmen, die sich in den anderen Kurven zeigen, erklären sich wohl aus den verhältnismäßig wenig zahlreichen Einzelwerten. Aus der erwähnten Parallelität in den Kurven



geht hervor, daß eben einzelne Konsonanten Schädigungen ganz besonders ausgesetzt sind. Das gilt z. B. für B, K, W und M, bei denen schon allein durch die lange Schalleitung eine wesentliche Beeinträchtigung zu bemerken ist, die bei den anderen Anordnungen noch entsprechend größer geworden ist.

Nach BEZOLD, der sich auf die Untersuchungen WOLFFS¹ bezieht,

¹ O. WOLFF: Sprache und Ohr. Braunschweig 1871.

sollte der Ausfall des unteren Teils der Tonskala unterhalb der Sext besonders die Konsonanten M, L und N beeinträchtigen. Von einer solchen besonderen Beeinträchtigung ist für L und N in der vierten Anordnung nichts zu bemerken und M ist immer noch eben so oft richtig verstanden worden wie H und Ch. Allerdings könnten hier auch noch tiefere Töne, als die ausgelöschten, in Betracht kommen. Dagegen sollten Ausfälle im oberen Teil der Skala S und Sch, wahrscheinlich auch K und F betreffen. Der obere Teil der Tonskala war nun wegen Schädigung der Obertöne stark beeinträchtigt. Trotzdem stellt bei der vierten Anordnung, bei der die Lücke im oberen Teile des Tonbereiches am weitesten nach unten reicht, S nach Z den am häufigsten richtig verstandenen Konsonanten dar. Auch bei den anderen Anordnungen ist S relativ gut verstanden worden; nur bei der ersten Anordnung ist das Verständnis von S, namentlich im Anlaut, auffallend schlecht gewesen, wofür wir vorläufig keine Erklärung zu geben vermögen. Das Verständnis von F ist bei der dritten und vierten Anordnung keineswegs besonders beeinträchtigt, und K ist in allen Anordnungen verhältnismäßig schlecht verstanden worden. Zur Erklärung dieser von BEZOLD abweichenden Versuchsergebnisse kann nicht etwa die EBBINGHAUSSCHE Modifikation der HELMHOLTZschen Hörtheorie¹ herangezogen werden, auf die sich BEZOLD für die Fälle beruft, die bei starker Herabsetzung der Hördauer für die Töne der Sprachsext, aber gut erhaltenem Gehör für die nächst tieferen Oktaven, relativ gutes Sprachverständnis aufwiesen. Nach dieser Theorie soll nämlich „jede die Basilarmembran treffende einfache Tonwelle . . . nicht nur die direkt auf sie abgestimmten Fasern in Mitschwingung [setzen], sondern bis zu einer gewissen Grenze auch alle diejenigen Fasern, die auf ihre harmonischen Untertöne abgestimmt sind“. Es könnten also die tieferen Fasern für die zerstörten höheren vikariierend eintreten und so einen Ausfall kompensieren. In unseren Versuchen aber werden die den ausgelöschten Tönen entsprechenden Schallwellen schon in der Luft durch Interferenz vernichtet und gelangen überhaupt nicht zum Ohr, so daß auch diese tieferen Fasern nicht durch sie erregt werden können. Es ist aber möglich, daß vielleicht eine gröfsere Schallintensität der Laute F und S die Schädigung der Obertöne durch die Interferenz nicht ausreichen liefs, um die Perzeption entsprechend herabzusetzen.

¹ EBBINGHAUS: Grundzüge der Psychologie. II. Aufl. (1905) S. 339.

Spro- chen	gehört													0			
	b	d	f	g	h	j	k	l	m	n	p	r	s		t	w	z
k	1. Anordnung 2. " 3. " 4. "	6,7 6,1	3,0	3,3 3,0	3,3 3,0	3,4 3,0	69,6 41,4 16,7 24,3		3,0	3,3	15,2 41,4 53,4 48,5			15,2 13,8 10 6,1	3,3 3,3		
l	1. Anordnung 2. " 3. " 4. "	8,8	15,6 8,8	2,9	9,4 5,9	6,9 9,4 2,9	96,7 69,0 46,8 50	6,9	10,3 6,3 11,9	2,9	9,4			6,9	3,1 5,9		
m	1. Anordnung 2. " 3. " 4. "	10 42,4 43,1	2,7	3,0 2,7	3,3 6,1 10,8	3,0	3,2 3,3 5,4	90,3 76,7 27,3 13,7	6,5	6,1 8,1	2,7	3,0		6,7 9,1 5,4			
n	1. Anordnung 2. " 3. " 4. "	14,3 13,3	6,7 16,8 28,6 20,1	3,3 3,6 6,7	7,1 13,3	3,3	3,3 3,3 3,6 6,7	10 3,3	80 70 32,1 10	3,3	3,6			3,3 7,1 10			3,3
p	1. Anordnung 2. " 3. " 4. "	11,8 16,7	3,7 2,9 10	2,9 3,3	2,9 3,3	5,9	3,4	3,3	2,9	89,7 85,2 73,6 66,7	3,6			6,9 11,1			
r	1. Anordnung 2. " 3. " 4. "	10,4	3,3	17,2	2,1 17,2	3,3 10,4	2,1 3,3 17,2	3,3 3,4	3,4	100 90,7 80,1 10,4				3,1 6,7 10,4			

Sprohen	gehört													0			
	b	d	f	g	h	j	k	l	m	n	p	r	s		t	w	z
t		3,3 4	4 7,4	3,7			3,2 6,7 8 3,7		3,7		3,2 32 29,6		3,7	93,6 90 52 37,1	3,7		
w		3,7							3,7			4	3,4		96 79,5 59,3 45,8		4,2
z		7,4 20,8		3,4 3,7 4,2	6,9 11,1 16,7	3,4 3,7	3,4		3,4 11,1 8,3		3,1 6,7	3,7		3,3 6,3 3,3		96,7 96,6 90,6 90	

Tabelle 4.
Auslaut.

Sprohen	gehört													0			
	ch	pal	ch	gutt	f	k	l	m	n	p	r	s	t		x	z	
ch.	100				5,9												11,7
pal.	76,5				22,8	9,1											4,5
	41				4,5	4,5			4,5	9,1 4,5	9,2	5,9 4,5	4,5				4,5
	40,9						9,2					18,1	4,5				4,5

Spro- chen	gehört															
	ch	pal	ch	gutt	f	k	l	m	n	p	r	s	t	x	z	o
1. Anordnung	100											16,7				4
2. "	96										5,6	44,4	5,6			
3. "	83,3			11,1												
4. "	33,3															
1. Anordnung		2,5		95						5		5				
2. "		5		85						2,5		15	15			
3. "		10	2,5	50	2,5			5	5	2,5	5	12,5	10			2,5
4. "				30				10	10	10						
1. Anordnung					100											
2. "		2,5			97,5			2,5		17,5			2,5			
3. "					75					10			2,5			
4. "					80						2,5		2,5	2,5		2,5
1. Anordnung							100									
2. "							85			2,5			2,5			10
3. "							55			5			7,5			12,5
4. "							80			5			2,5			5
1. Anordnung			2,5					85								
2. "								70	10	2,5			15			2,5
3. "			2,5					57,5	10	2,5			12,5			
4. "			2,5					25	12,5	30			12,5			10
1. Anordnung									90							
2. "								10	82,5				7,5			2,5
3. "								15	67,5				10			2,5
4. "								7,5	60				10			2,5

Es hat sich also gezeigt, daß durch die verschiedenen Stellungen der Interferenzröhren in unseren Versuchsanordnungen keine spezifischen Ausfälle erzeugt werden, sondern daß die einzelnen Konsonanten in etwa gleicher Weise von der ersten zur vierten Anordnung fortschreitend geschädigt werden. Es besteht nun die Frage, ob sich in den vorgekommenen Verwechslungen der Konsonanten solche typischen Einflüsse zeigen. Um über diese Verwechslungen ein Urteil zu gewinnen, haben wir die in den vorher erwähnten Tabellen zusammengestellten Werte in den vorstehenden Tabellen 2 bis 4 für die Vp. LEWIN noch einmal so geordnet, daß wir sie in den verschiedenen Anordnungen für den einzelnen Konsonanten untereinandergestellt haben. In den ersten beiden horizontalen Reihen bei jedem Buchstaben zeigen sich also die Schädigungen, die lediglich durch Herabsetzung der Schallintensität durch die mehr oder minder lange Schlauchleitung bedingt wurden, während die Reihen 3 und 4 die Ergebnisse enthalten, die durch Auslöschung der Sprachsext bzw. der tieferen Sext erzeugt wurden.

Man sieht, daß Fehlern, die schon in den beiden oberen Reihen vorkamen, fast immer und häufig in größerer Zahl Fehler in den beiden unteren Reihen entsprechen, während Verwechslungen, die sich nur in der letzten bzw. vorletzten Reihe finden, im allgemeinen durch sehr kleine Zahlenwerte repräsentiert werden. Es bestehen also für jeden ungenügend perzipierten Konsonanten ganz bestimmte Verwechslungstendenzen, die bei allen vier Anordnungen gleichmäÙig hervortreten, ohne natürlich auszuschließen, daß zuweilen auch nichttypische Verwechslungen vorkommen. Auch wenn sich nur in den beiden unteren Horizontalreihen entsprechende (in den Tabellen untereinanderstehende) Verwechslungen in größerer Häufigkeit finden, spricht dies dafür, daß hier keine nur für eine der beiden Anordnungen charakteristische Verwechslung besteht, sondern eine allgemeine Verwechslungstendenz vorliegt. Wir stellen die nach diesen Kriterien ausgewählten Verwechslungen in der folgenden Tabelle 5 zusammen. Besonders schwerwiegend sind natürlich diejenigen Verwechslungen, die bei Anfangs-, Mittel- und Endstellung des Konsonanten gleichmäÙig vorgekommen sind (s. Tabelle 5).

Tabelle 5.

gesprochen		gehört	ge- sprochen	gehört
b	Anlaut Mittellaut	d g p d g m w	n	Anlaut Mittellaut Auslaut b d g l m w m m t
d	Anlaut Mittellaut	b g s g n	p	Anlaut Mittellaut Auslaut b d m t
f	Anlaut Mittellaut Auslaut	p p ch p r s t (pal.)	r	Anlaut l w
g	Anlaut Mittellaut	b d h b d	s	Anlaut Mittellaut Auslaut w d f
h	Anlaut Mittellaut	p w m n w	t	Anlaut Mittellaut Auslaut p k p p
j	—	—	w	Anlaut Mittellaut b h s b g h m
k	Anlaut Mittellaut Auslaut	p t g p p t	x	Mittellaut k t z
l	Anlaut Mittellaut Auslaut	j n w n r t	z	Anlaut Mittellaut Auslaut f t t t
m	Anlaut Mittellaut Auslaut	b h l n w b n n p t	ch. pal.	Auslaut f s
			ch. gutt.	Auslaut s

Man sieht aus dieser Tabelle, daß bei den Verwechslungen in erster Linie die Lautstufe maßgebend ist und die Artikulationsstelle erst in zweiter Linie in Betracht kommt. Es werden also im allgemeinen besonders leicht verwechselt:

- die Mediae (b, d, g) untereinander,
- die Tenues (p, t, k) untereinander,
- die Spiranten (f, w, s, ch) untereinander, ferner
- die Liquidae (l, r, m, n) untereinander, und von
- den Affrikaten (z = ts, x = ks) geht häufig ein Bestandteil verloren.

Weniger leicht werden verwechselt:

- die Labiales (b, p, f) untereinander,
- die Dentales (d, t, s) untereinander,
- die Gutturales (g, k, ch) untereinander.

Diese Ergebnisse stimmen gut überein mit den Feststellungen H. GUTZMANN¹, nach denen ebenfalls die Laute „ähnlichen akustischen Charakters“ bei seinen Diktierversuchen mit sinnlosen Silben im Freien, im Zimmer und am Telephon verwechselt wurden, nämlich p, t, k, b, d, g, sch, f, s, z, x, ch, m, n, g, w, s, j. Allerdings konnten wir eine Bevorzugung der Dentales als Ersatzbuchstaben, wie sie GUTZMANN in Übereinstimmung mit BOURDON gefunden hat, nicht feststellen, fanden vielmehr eher eine Tendenz zum Einsetzen der Labiales.

Außer diesen in allen vier bzw. in zwei Anordnungen besonders stark hervorgetretenen Verwechslungen kommen, wenn auch selten, solche vor, bei denen sich nur in einer Anordnung ein verhältnismäßig hoher Wert findet, während bestimmte andere Buchstaben nur verschwindend selten oder gar nicht für den nicht verstandenen Konsonanten eingesetzt worden sind. Zum Teil stimmen diese mit den Verwechslungen überein, die bei den gleichen Konsonanten, aber an anderer Stelle des Wortes, als Vorzugsverwechslungen vorgekommen sind. Bei denen aber, für die das nicht zutrifft, könnte man daran denken, daß hier vielleicht durch die Interferenz bestimmte Elemente, die bei der Bildung des Konsonanten als Geräusch mitwirken, ausgefallen seien und daß so die Verwechslung mit bestimmten anderen Konsonanten ermöglicht wäre. Es würden das also bestimmte, durch die Interferenz erzeugte und für sie typische Verwechslungen darstellen. Bedenkt man aber, daß diese Verwechslungen fast nur in der vierten Anordnung, also bei stärkster Schallabschwächung vorgekommen sind, so genügt auch die Erklärung, daß infolge dieser Intensitätsherabsetzung bestimmte Kriterien verloren gingen, die sonst eine Unterscheidung von dem einen Teil der zur Verfügung stehenden Konsonanten ermöglichten, während andere, z. B. S, doch immer noch so scharf charakterisiert waren, daß sie niemals als Ersatz gewählt wurden. Auf diese Weise würde sich also die Häufung der Werte an bestimmten, isolierten Stellen

¹ H. GUTZMANN: Untersuchungen über die Grenzen der sprachlichen Perzeption. *Zeitschr. f. klinische Medizin* 60 (1906). S. 233.

auch ohne die Annahme einer typischen Interferenzwirkung, einer Umformung in einen anderen Konsonanten, erklären.

Für die Vokale wäre auf Grund der HELMHOLTZ-KÖNIGSchen sowie der KÖHLERSchen¹ Feststellungen zu erwarten gewesen, daß bei Ausschaltung der Sprachsext das Verständnis von O geschädigt wäre, bzw. O wegen der erhalten gebliebenen Obertöne mit helleren Vokalen verwechselt werden müßte. Auch E und I hätten, wegen des Ausfalles der ihnen entsprechenden Eigentöne, die zu den ungradzahligen Obertönen der durch die Interferenz vernichteten Töne gehören, stark beeinträchtigt werden müssen. In der Tat ist bei Ausschaltung der tieferen Sext I in der ersten und E in der zweiten Silbe sehr schlecht verstanden worden, wobei I hauptsächlich mit E, E hauptsächlich mit A verwechselt worden ist.

Allerdings tritt die Verwechslung von E und I, wie GUTZMANN festgestellt hat, schon beim gewöhnlichen Hören sinnloser Silben auf; und auch bei unserer ersten und zweiten Anordnung ist I nur bei der zweiten Anordnung in der zweiten Silbe jedesmal richtig verstanden worden, während sich sonst für I und E verhältnismäßig niedrige Werte richtiger Perzeption finden. Keineswegs haben sich die für O zu erwartenden Ausfälle, wenigstens bei dieser Vp. (LEWIN), ergeben. Bei einer anderen (HIRSCHFELD) ist bei Ausschaltung der tiefen Sext U niemals richtig verstanden worden und O bei Ausschaltung der Sprachsext nur in 30% richtig aufgefaßt worden. Dies würde mit den oben erwähnten Lehren übereinstimmen. Wir glauben aber unsere Versuche nach dieser Richtung hin überhaupt nicht verwerten zu sollen, da für die Prüfung der Vokalhöhen die auszuschaltenden Tonstrecken anders gewählt werden müßten, als es in unseren besonders auf die Sprachsext gerichteten Versuchen zu geschehen hatte. So müßten z. B., um den Bezirk der nach KÖHLER O-ähnlichen Laute vollständig auszuschalten, die Ausschaltung etwa von einer Quart unterhalb c^2 bis zu einer Quart oberhalb c^2 reichen.

Auffällig war noch, daß besonders das Verständnis der Umlaute bei allen vier Anordnungen relativ erschwert war, so daß

¹ W. KÖHLER: Akustische Untersuchungen I. *Diese Beiträge* 4 (1910). S. 134.

Derselbe: Akustische Untersuchungen II. *Diese Beiträge* 6 (1911). S. 1.

sich für diese niedrige Zahlen finden. Auch GUTZMANN fand bei den erwähnten Hörversuchen, daß besonders häufig für die Umlaute andere Vokale eingesetzt wurden.

Fassen wir das Hauptergebnis unserer Untersuchung kurz zusammen:

Ist die Perzeption für die Tonstrecke b^1-g^2 aufgehoben, so ist damit noch keineswegs das Verständnis für die menschliche Sprache verloren. Die geringe Erschwerung, die für das Verständnis sinnvoller Rede eintritt, wird auch durch einen beliebigen anderen etwa gleichgroßen Ausfall einer Tonstrecke mittlerer Lage erzeugt und ist also keineswegs für die Strecke b^1-g^2 typisch. Die Versuche mit sinnlosen Wörtern haben gezeigt, daß diese Beeinträchtigung des Hörvermögens durch Ausfall der Tonstrecke b^1-g^2 (mit den entsprechenden ungradzahligen Obertönen) nur für zwei Sprachlaute (k und palatales ch) so groß ist, daß weniger als 50 % richtiger Auffassungen erzielt werden (s. Kurve 4. Durchschnittswerte). Selbst unter Bedingungen aber, die bei Versuchen mit sinnlosen Wörtern noch weniger richtige Fälle ergeben, genügt das noch vorhandene Hörvermögen für das Verständnis sinnvoller Rede.

Die Sexte b^1-g^2 bzw. das sie perzipierende Stück der Akustikusausbreitung in der Schnecke spielt also keineswegs, wie BEZOLD meinte, für das Hören eine ähnlich bedeutungsvolle Rolle, wie die Fovea centralis für das Sehen.

Zum Schlusse möchten wir Herrn Geh. Rat STUMPF unseren ergebensten Dank dafür aussprechen, daß er durch seinen Rat und durch die Überlassung der Hilfsmittel des Instituts unsere Arbeit weitgehend gefördert hat.