

## Ferdinand Trendelenburgs Arbeiten zu Klängen und Geräuschen

Armin Kohlrausch<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Human-Technology Interaction, Technische Universiteit Eindhoven, P.O. Box 513, NL-5600 MB Eindhoven, The Netherlands*

<sup>2</sup> *Philips Research Europe, High-Tech Campus 36, NL-5656 AE Eindhoven, The Netherlands, Email: armin.kohlrausch@philips.com*

### Einleitung

Der Titel dieses Beitrages verweist auf das Buch "Klänge und Geräusche", das Ferdinand Trendelenburg 1935 veröffentlichte. Er war damals Abteilungsleiter am Forschungslaboratorium der Siemenswerke sowie a.o. Professor an der Universität Berlin. Trendelenburg hat die modernen Möglichkeiten der objektiven Klanganalyse vor allem auf die Untersuchung von Sprachlauten sowie von medizinisch wichtigen Geräuschen am menschlichen Körper (Herz-, Lungen-, Muskelgeräusche) angewendet. Neben Grundlagenuntersuchungen zu Formanttheorien lieferten seine Arbeiten wichtige Beiträge zur Lösung technischer Probleme auf den Gebieten der "Fernübertragung der natürlichen Klänge" sowie der Klangaufzeichnung zwecks späterer Reproduktion. Er folgerte schon im Jahre 1924, dass für naturgetreue Wiedergabe der Sprache eine gleichmäßige Empfindlichkeit für Schwingungen zwischen 50 und 5000 Hz gefordert werden muss, während die Technik für die Nachrichtenübertragung nur die Forderung stellte, dass der Bereich von 700 bis 2100 Hz einigermaßen gleichmäßig wiedergegeben wird. Diese Klangeinengung wird, so Trendelenburg, aufgrund der langjährigen Erfahrung nicht mehr bemerkt, macht sich aber besonders im fremdsprachlichen Fernsprechverkehr nachteilig bemerkbar [1].

### Lebensdaten

Ferdinand Trendelenburg wurde am 26 Juni 1896 in Leipzig geboren. Er entstammt einer Familie, die zahlreich in der deutschen Wissenschaft vertreten war und ist. Sein Großvater war der Philosoph und Philologe Ferdinand Adolf Trendelenburg, Professor an der Universität Berlin und Mitglied der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften. Sein Vater, Friedrich Trendelenburg, gilt als ein Erneuerer der Chirurgie und war seit 1895 als Medizinischer Direktor an der Universitätsklinik Leipzig tätig. Zu Trendelenburgs Brüdern zählen Wilhelm, der wichtige Beiträge zur Sinnesphysiologie, insbesondere zum Farbsehen geleistet hat; Ernst Paul, der als Jurist und Politiker mehrere Jahre Generalsekretär der Kaiser-Wilhelm Gesellschaft war und zwischen 1930 und 1932 zwei Kabinetten als kommissarischer Reichsminister für Wirtschaft angehörte; Paul, der als Pharmakologe und Toxikologe an den Universitäten Tartu, Rostock, Freiburg sowie Berlin arbeitete.

Ferdinand Trendelenburg nahm 1914 das Studium der Physik und Mathematik an der Universität Edinburgh auf, das er aufgrund des ersten Weltkrieges bald abbrechen musste und erst 1918 an den Universitäten Berlin, Tübingen und Göttingen fortsetzen konnte. In Göttingen

promovierte er 1922 bei Max Reich am Institut für angewandte Elektrizitätslehre mit einer Arbeit zur Wirkungsweise und Anwendung des Thermophons [2]. Direkt anschließend wurde er Mitarbeiter des Forschungslaboratoriums der Siemens & Halske AG in Berlin. Im Jahre 1929 habilitierte er sich an der Universität Berlin mit einer Arbeit zu physikalischen Eigenschaften der Herzöne. 1935 wurde er außerplanmäßiger, außerordentlicher Professor, 1940 Honorarprofessor an derselben Universität. 1951 übernahm er die Leitung des neu gegründeten Forschungslaboratoriums der Siemens-Schuckert Werke in Erlangen. Daneben war er Honorarprofessor an der Universität Freiburg sowie später an der TH München. Nach seiner Pensionierung 1962 übernahm von 1966 bis 1968 interimistisch die Leitung des "Siemens-Museums" in München. Am 19. November 1973 starb Trendelenburg in Erlangen [3].

### Psychoakustische Arbeiten

Nach seinem Eintritt in das Forschungslabor der Fa. Siemens & Halske beschäftigte sich Trendelenburg mit hochwertigen Methoden der objektiven Klangaufzeichnung und -analyse. Hans Riegger hatte bei Siemens 1923 ein Kondensatormikrophon in sogenannter HF Schaltung entwickelt, dessen Klangreinheit, wie Trendelenburg sagte, "bei subjektiver Prüfung vorzügliche Resultate ergab" [1]. Durch die zusätzliche Anwendung hochwertiger Verstärker konnte er auch sehr schwache akustische Signale, wie Herz- und Lungengeräusche, erstmals einer objektiven Analyse zugänglich zu machen (s.u.).

Im Zuge dieser Arbeiten hat sich Trendelenburg ausführlich mit dem Verhältnis zwischen subjektiver und objektiver Bewertung von Schallen beschäftigt [4], deren direkter Vergleich "vielfach auf nicht unerhebliche Schwierigkeiten stößt; diese liegen darin begründet, daß das menschliche Ohr als akustisches Beobachtungsorgan anders arbeitet wie die üblichen physikalischen Meßgeräte. Beim kritischen Vergleich objektiv gewonnener Erkenntnisse mit der subjektiven Erfahrung ist also zu berücksichtigen, wie der betreffende physikalische Reiz auf das Gehör einwirkt" [4, S. 937]. Einer dieser Unterschiede liegt in der speziellen Frequenzgewichtung des menschlichen Gehörs, die sich in der Form der Kurven gleicher Lautheit (Isophonen) zeigt. Trendelenburg basierte seine Schlussfolgerungen auf Messungen von Kingsbury aus dem Jahre 1927. Diese frühen Messungen weisen einen geringeren Frequenzumfang auf als die häufiger zitierten Messungen von Fletcher und Munson aus dem Jahre 1933, stimmen mit diesen aber im Bereich 100 bis 2000 Hz gut überein [5]. In einer Arbeit aus dem

Jahre 1929 zeigen Gerdien, Pauli und Trendelenburg, wie man die Kurven gleicher Lautheit als als Filter für die gehörgerechte Aufzeichnung und Analyse von Schallen verwenden kann [6]. In dieser Arbeit wird bereits erwähnt, dass es, um die Gehörempfindlichkeit genau nachzubilden, nötig ist, die Frequenzgewichtung pegelabhängig zu wählen. Zwei Jahre später zeigt er, wie eine solche pegelabhängige Gewichtung aussehen muss [4]. Abbildung 1 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Isophonen und den abgeleiteten Gewichtungskurven für einen objektiven Geräuschanalysator. Bereits in dieser Arbeit finden sich drei Wichtungskurven, die im mittleren Frequenzbereich einen Pegelabstand von 30 dB haben, genauso wie die später eingeführten A, B, und C-Gewichtungen.

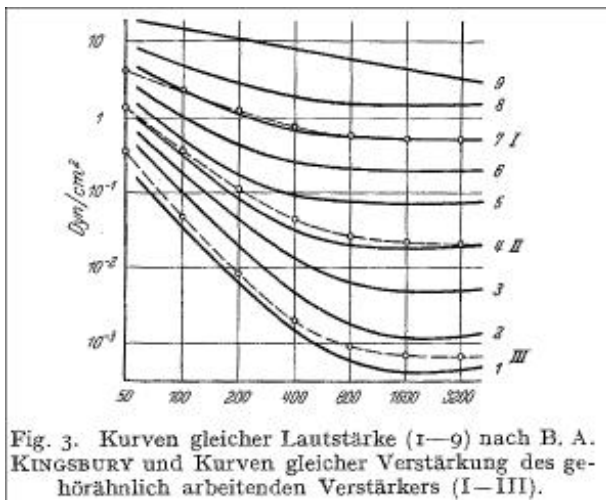


Abbildung 1: Abbildung aus Arbeit [4] aus dem Jahre 1931

Diese Erkenntnisse zur gehörgerechten Lautheitsmessung wurden von Trendelenburg auf verschiedene Geräuschklassen angewendet. Eine Übersicht dieser Arbeiten findet sich in dem Buch "Klänge und Geräusche", das 1935 im Verlag Julius Springer erschien. Klänge sind für Trendelenburg Schallvorgänge, deren Spektren aus einer endlichen Zahl von Harmonischen einer gemeinsamen Grundfrequenz bestehen, z.B. Sprache und die Klänge von Musikinstrumenten. Dabei ist er sich bewusst, dass die Definition über harmonische Spektren nicht für die Einschwingvorgänge gilt. Im Gegensatz dazu sind Geräusche allgemein Schallvorgänge, die unperiodische Bestandteile enthalten. Klänge lassen sich sinnvoll nach der Art der Erzeugung einteilen. Bei Geräuschen ist dies aufgrund der nahezu unerschöpflichen Zahl nicht sinnvoll; Trendelenburg wählt deshalb eine phänomenologische Einteilung in Verkehrs-, Wohn- und Betriebsgeräusche, sowie Geräusche am menschlichen Körper. Ich möchte zum Abschluss dieses Beitrages aus dieser letzten Kategorie das Beispiel der Herzgeräusche besprechen.

Laut Trendelenburg wurde die eingehende physikalische Untersuchung von Herz- und auch Lungenschall erst durch den Einsatz hochwertiger Verstärker möglich. Um für den Arzt den Einsatz objektiver Methoden akzeptabel zu machen, ist es, laut Trendelenburg, nötig, dass

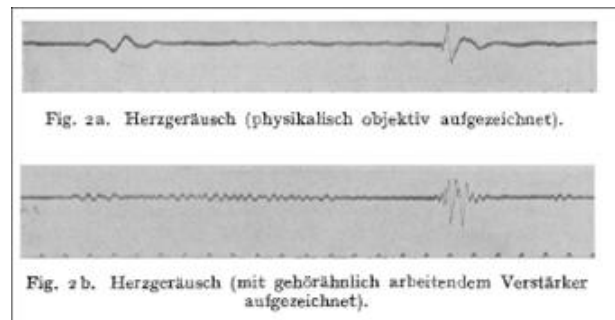


Abbildung 2: Objektive (oberes Bild) und gehörgerechte Aufzeichnung desselben Herzgeräusches, aus [4]

die objektive Wiedergabe dem subjektiven Höreindruck entspricht. Er verdeutlicht dies an zwei verschiedenen Aufzeichnungen desselben Herzgeräusches (s. Abb. 2). Das obere Bild zeigt die "objektive Aufzeichnung eines lauten systolischen Geräusches mit 'klappendem zweiten Ton', erstaunlicherweise war bei dieser (mit einem objektiv gleichmäßig arbeitenden Meßorgan vorgenommenen) Aufzeichnung von dem diagnostisch wichtigen Geräusch nahezu nichts zu erkennen, in völligem Gegensatz zu der subjektiven Beobachtung...". Im unteren Bild wurde eine Frequenzgewichtung des Signals vorgenommen, die die tieffrequente Komponente von ca. 100-150 Hz deutlich abschwächt, wodurch das höherfrequente Signal des "klappenden zweiten Tons" von etwa 300 Hz sichtbar wird. Diese untere Darstellung entspricht genau der subjektiven Beurteilung dieses Geräusches durch den Arzt.

Interessanterweise hat Trendelenburg diese Art der Geräuschanalyse zunächst an Herzgeräuschen entwickelt, und sie erst anschließend auf Sprachsignale sowie technisch erzeugte Geräusche von Autos übertragen. Ich vermute, dass diese Vorliebe für medizinische Fragestellungen sich aus seinem familiären Hintergrund erklären lässt.

## Literatur

- [1] Trendelenburg, F.: Zur Physik der Klänge. Die Naturwissenschaften 12 (1924), 661-667.
- [2] Trendelenburg, F.: Wirkungsweise und Anwendung des Thermophons. Wiss. Veröff. aus dem Siemens-Konzern 3 (1923/24), 212-225.
- [3] Feldtkeller, E. und Goetzler, H.: Pioniere der Wissenschaft bei Siemens. Publicis MCD Verlag, Erlangen, 1994, S. 91-95.
- [4] Trendelenburg, F.: Objektive Messung und subjektive Beurteilung von Schallvorgängen. Die Naturwissenschaften 19 (1931), 937-940.
- [5] Fletcher, H. und Munson, W. A.: Loudness, its definition, measurement and calculation. J. Acoust. Soc. Am. 5 (1933), 82-108.
- [6] Gerdien, H., Pauli, H. and Trendelenburg, F.: Untersuchungen über Erschütterungsschwingungen und Geräusche. Zeitschr. f. techn. Physik 9 (1929), 374-378.