

Das Monochord, sein Weg von der Pythagoräischen Musikwissenschaft zur Prüfung der oberen Hörgrenze

Bilder aus der Geschichte der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, dargestellt an Instrumenten aus der Sammlung im Deutschen Medizinhistorischen Museum in Ingolstadt

Einleitung: Als Monochord bezeichnet man eine auf einem Rahmen ausgespannte Saite, deren Länge durch einen verschiebbaren Steg variiert werden kann. Die Saite wird durch Zupfen, Anschlagen oder Streichen mit einem Bogen in Transversalschwingungen versetzt. Die Schwingungszahl ist dabei abhängig von der Länge der Saite, ihrer Spannung und ihrer Dicke. Das Monochord diente im Altertum (Pythagoräer) und Mittelalter dazu, die Gesetzmäßigkeit der musikalischen Intervalle zu studieren, im 19. Jahrhundert auch zu zahlreichen anderen physikalischen Untersuchungen. F. A. Schulze, Physiker in Marburg, verwendete 1908 erstmals ein Monochord zur Erzeugung sehr hoher Töne, um die obere Hörgrenze zu bestimmen, indem er die Saite durch Reiben in der Längsrichtung in Longitudinalschwingungen versetzte. Die Tonhöhe ist dann nur abhängig von der Länge der Saite und dem Elastizitätsmodul des Materials, aber unabhängig von der Spannung und Dicke. H. J. L. Struycken, Ohrenarzt in Breda, Holland, gab 1910 ein verbessertes Monochord an, mit dem auch die Knochenleitung gemessen werden konnte. K. L. Schaefer, Physiologe in Berlin, erweiterte den Tonumfang des Struyckenschen Monochords dadurch, daß er zusätzlich wieder die Anregung zu Transversalschwingungen durch Streichen mit einem Bogen und Anschlagen mit einem Hämmerchen einführte. In dieser Version war das Monochord unentbehrlicher Bestandteil des Hörprüfungsinstrumentariums bis zur Ära der elektronischen Audiometer. Die technische Entwicklung der Monochorde und ihre klinische Anwendung werden ausführlich geschildert.

Schlüsselwörter: Monochord – Obere Hörgrenze – Hörprüfungen – Geschichte der HNO

Abstract: The Monochord in the Pythagorean Musicology and the Upper Tone Limit. Pictures from the collection of the German Medical History Museum in Ingolstadt. Highlighted by Objects of the German Medical History Museum in Ingolstadt.

The monochord consists of a frame with a string or piano wire stretched across it. The length of the wire can be varied by a movable bridge. The string or wire is plucked, hit, or bowed, producing transverse vibrations. In this mode the number of vibrations per second is dependent on the length, tension, and thickness of the string. In ancient times, the Pythagoreans used such an instrument to study the natural laws underlying musical intervals; in the 19th century it also served for various other physical experiments. F. A. Schulze, physicist in Mar-

H. Feldmann

ehem. Direktor der Univ.-HNO-Klinik Münster

H. Feldmann

1540

FELDMANN, H.

1995

burg, Germany, introduced the monochord for testing the upper tone limit in 1908. He produced longitudinal vibrations by rubbing the wire with a piece of felt moistened with benzol. The vibrations of this mode are dependent only on the length of the wire and the elasticity of the material; they are independent of its tension and thickness. H. J. L. Struycken, otologist in Breda, Holland, presented an improved type of monochord in 1910 which also allowed testing bone conduction. K. L. Schaefer, physiologist in Berlin, modified Struycken's instrument in such a way that bowing the wire or hitting it with a small hammer also produced transverse vibrations. This enlarged the range of tones in the lower region. In this combined version the monochord was an indispensable piece of hearing testing equipment before the era of electronic audiometers. The technical development and clinical application of the monochord is described in detail.

Key words: Monochord – Upper tone limit – Hearing test – History of ENT

Einleitung

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts war ein beachtliches Arsenal an Hörprüfungsinstrumenten entwickelt worden, um die obere und untere Hörgrenze zu bestimmen und das ganze Hörfeld auszuloten. Die Messung der oberen Hörgrenze war insbesondere durch die Erfindung der Galton-Pfeife zur Routine geworden und hatte der Otologie wichtige Erkenntnisse gebracht, z.B. die Entdeckung der Altersschwerhörigkeit [1]. Allerdings war die Handhabung der Galton-Pfeife mit technischen Schwierigkeiten verbunden. Es gab viele Fehlerquellen, man konnte die Lautheit nicht wesentlich variieren, und die Messung der Knochenleitung war nicht möglich. Es herrschte auch noch große Unsicherheit über das Wesen und die Absolutheit einer solchen oberen Hörgrenze. So diskutierte der Physiker F. A. Schulze in Marburg 1908 z.B. ausführlich die Frage, ob prinzipiell jeder noch so hohe Ton gehört werden würde, wenn nur seine Intensität genügend groß wäre, oder ob es eine exakte obere Hörgrenze gäbe, entsprechend etwa der Grenze des sichtbaren Spektrums [7,8].

Um diesen Fragen weiter nachgehen zu können und um für die otologische Praxis ein leichter zu handhabendes Gerät für die Messung der oberen Hörgrenze zu schaffen, führte F. A. Schulze 1908 ein uraltes, für die Musikwissenschaft entwickeltes Instrument in die Hörprüfungstechnik ein, das Mono-



Abb. 1 Holzchnitt aus „Theorica Musica“ von Franchino Gaffori, Mailand 1496. Dargestellt sind Jubal, Pythagoras und Phylolaus, die nach mittelalterlicher Tradition die ersten Musiker waren. An Schmiedehämmern, Glocken, verschieden hoch gefüllten Gläsern, einem Polychord mit verschieden stark gespannten Saiten und Flöten werden die Beziehungen zwischen Tonhöhe und physikalischen Maßen der Klangkörper und damit der musikalischen Intervalle dargestellt. Die Klangkörper mit den Ziffern 4 & 8 & 16 bilden Oktaven, die mit den Ziffern 4 & 6, und 6 & 9 je eine Quinte, die mit den Ziffern 6 & 8 und 12 & 16 je eine Quart. Eine große oder kleine Terz läßt sich mit den gewählten Ziffern nicht darstellen; sie galten im Altertum und Mittelalter noch als Dissonanz. Die Ziffern 8 & 9 bilden den Tonschritt einer großen Sekunde. Bibliothèque Royale, F. Fétis Nr. 5278.

chord, verband hiermit jedoch eine neue Idee: die Saite sollte nicht, wie herkömmlich, zu Transversalschwingungen, sondern zu Longitudinalschwingungen angeregt werden [7]. Diese Entwicklung soll im folgenden geschildert werden.

Das Monochord in der Musikwissenschaft

Nach der Überlieferung hat Pythagoras als erster entdeckt, daß eine fundamentale Gesetzmäßigkeit besteht zwischen der Tonhöhe und den Maßen einer zum Klingen gebrachten Materie. Als er einmal an einer Schmiede vorüberging, wo mit mehreren Hämmern an einem Amboß gearbeitet wurde, so heißt es in der Legende, sei ihm aufgefallen, daß die Schläge mit kleinen Hämmern einen höheren Klang gaben als Schläge mit größeren Hämmern. Das soll ihn angeregt haben, entsprechende Versuche mit verschiedenen Klangkörpern anzustellen und die zugrunde liegende Gesetzmäßigkeit zu formulieren. Wenn man z.B. eine ausgespannte Saite anzupft, gibt



Abb. 2 Miniatur aus einer Handschrift aus dem 12. Jahrhundert, Guido von Arezzo demonstriert seinem Schüler Theobaldus an einem Monochord die Zahlenverhältnisse, die den musikalischen Intervallen zugrunde liegen (aus F. Otterbach).

sie einen bestimmten Ton. Wenn man die Länge der Saite halbiert, gibt sie einen um eine Oktave höheren Ton, wenn man sie drittelt, bekommt man die Quinte usw. Eine entsprechende Gesetzmäßigkeit findet sich, wenn die Spannung der Saite bei gleichbleibender Länge verdoppelt, halbiert, gedrittelt wird, und ganz analog fallen solche Versuche mit verschiedenen langen Blasinstrumenten, z.B. Flöten, aus. Die Abb. 1 zeigt auf einem mittelalterlichen Holzchnitt diese Gesetzmäßigkeiten an verschiedenen Klangkörpern.

Auf diesen Erkenntnissen beruht die ganze Musikwissenschaft mit der Entwicklung der verschiedenen Tonsysteme und der Harmonielehre [2]. Sie waren bis weit in das Mittelalter auch Anlaß zu zahlreichen mythischen Vorstellungen, da man glaubte die Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen, die in den bevorzugten musikalischen Intervallen zutage traten, seien überall im Universum verwirklicht, z.B. in den Umlaufbahnen der Planeten, die in einer solchen Ordnung zu einer „Harmonie der Sphären“ vereint seien.

Zur systematischen Erforschung und Demonstration der musikalischen Intervalle und ihrer zahlenmäßigen Grundlagen war schon im Altertum ein spezielles Instrument entwickelt worden: das Monochord. Es besteht aus einem langen, rechteckigen Resonanzkasten, auf dem eine Saite ausgespannt ist. Durch einen verschiebblichen Steg kann die Saite an beliebiger Stelle unterteilt werden. Die Abb. 2 zeigt auf einer Miniatur aus einer Handschrift des 12. Jahrhunderts, wie Guido von Arezzo (980–1050), der große Musikwissenschaftler, dem wir u. a. das moderne Notensystem mit Linien verdanken, seinem Schüler Theobaldus an einem Monochord die musikalischen Intervalle erläutert.

Das Monochord hat, wie der Name sagt, nur eine Saite. Aus dieser Urform mit einer Saite ging als musikalisches Instrument die Trumscheit hervor. Als Monochord bezeichnete man später aber auch Instrumente mit mehr als einer Saite, von denen dann zahlreiche andere Musikinstrumente abgeleitet wurden. Die Saiten des Monochords wurden entweder angezupft, mit Hämmerchen angeschlagen oder mit einem Bogen angestrichen. Physikalisch entscheidend ist, daß die Saite

Das Monochord



Abb. 3 Monochord oder Dichord aus dem 19. Jahrhundert. Der bewegliche Steg zur Unterteilung der Saite gleitet auf der Skala, ist hier aber abgenommen (aus K. L. Schaefer 1914).

dabei immer zu Transversalschwingungen angeregt wird. Ihre Schwingungszahl ist dann abhängig von der Länge, der Dicke und der Spannung der Saite. Die Abb. 3 zeigt ein Monochord für physikalische Messungen, wie es im 19. Jahrhundert viel verwendet wurde.

Erzeugung hoher Töne durch longitudinale Schwingungen; das Schulzesche Monochord

Der französische Physiker Félix Savart (1830) hatte, wie zahlreiche andere Forscher, Experimente angestellt, um die obere Hörgrenze zu bestimmen [4]. Besonders erfolgreich war er schließlich mit rotierenden Zahnrädern, an die ein Kartenblatt gehalten wurden. Vorher hatte er mit Stäben experimentiert, die er durch Reiben in der Längsachse zu Longitudinalschwingungen anregte. Dabei hatte er gefunden, daß ein Glasstab von 3 mm Durchmesser und einer Länge von 159 mm einen Ton von 15 500 Schwingungen pro Sekunde erzeugte, der gerade noch gehört wurde; bei einer Länge von 150 mm erzeugte der Glasstab einen Ton von 16 500 Schwingungen pro Sekunde, und dieser wurde von seinen Versuchspersonen manchmal gehört, manchmal nicht gehört. Er mußte also im Bereich der oberen Hörgrenze liegen.

F. A. Schulze griff 1908 diesen Gedanken Savarts auf, Stäbe in longitudinale Schwingungen zu versetzen, und übertrug ihn auf dünne Drähte [7]. Er benutzte dazu ein einfaches Monochord mit Drähten aus Stahl, Messing, später auch Silber von weniger als 0,5 mm Durchmesser. Der Draht wurde zwischen zwei Klemmen auf einem Grundbrett ausgespannt. Auf dem Grundbrett befand sich ein verschiebbarer Schlitten mit einer dritten Klemme. Damit konnte der Draht in verschiedener Länge zwischen der Mittelklemme und einer der Endklemmen abgegrenzt werden. Das Drahtstück wurde dann durch sanftes Anreiben in der Längsrichtung mit einem mit Kollophonium bestreuten Läppchen in Longitudinalschwingungen versetzt.

Die so entstehenden Schwingungen sind nur abhängig von der Länge des Drahtes, dem Elastizitätsmodul und dem spezifischen Gewicht des Metalles; sie sind aber unabhängig von der Dicke des Drahtes, seiner Spannung und der Temperatur. Bei geschickter Auswahl der Maße konnte damit ein Instrument konstruiert werden, das den ganzen interessierenden Frequenzbereich um die obere Hörgrenze abdeckte. Schulze hatte sich schließlich auf drei Ausführungen festgelegt:

1. mit Stahldraht und einer ganzen Länge von 80 cm. Die tiefste Tonhöhe lag hier bei c^2 (= 4096 Hz), schloß sich also gut an den Bereich an, der mit Stimmgabeln erreicht werden konnte.
2. mit Silberdraht und einer ganzen Länge von 30 cm. Hier lag die tiefste Tonhöhe bei g^3 (= 6137 Hz).
3. mit Silberdraht und einer ganzen Länge von 20 cm. Hier war die tiefste Tonhöhe c^4 (= 8192 Hz).

Die Geräte wurden von Paul Görs, einem Mechaniker am physikalischen Institut der Universität Marburg, hergestellt und kosteten zwischen 22 und 25 Mark. Die Abb. 5 zeigt ein solches Schulzesches Monochord in der Ausführung von 30 cm Länge.

Die zugrundeliegende Idee wurde sofort aufgegriffen und in eine den praktischen Bedürfnissen mehr gerecht werdende Form umgesetzt. Da dies schon sehr rasch geschah, hat das Schulzesche Monochord in seiner ursprünglichen Gestalt keine weite Verbreitung erlangt.

Das Struyckensche Monochord

Das Monochord war einfach zu handhaben, gestattete aber in der von Schulze angegebenen Form ebensowenig eine Messung der Knochenleitung wie die Galton-Pfeife. Diesen Mangel überwand eine Konstruktion, die der Ohrenarzt H. J. L. Struycken aus Breda in Holland 1910 bekanntgab [9]. Bei seinem Instrument ist die Saite aus Stahldraht über einem metallenen Lineal ausgespannt, das mit verschiedenen Skalen und einem Handgriff versehen ist. Das eine Ende, der sog. Kopf oder Schnabel, ist etwas aufwärts gebogen und abgerundet. An diesem Ende verläuft der Draht in einer kleinen Metallhülse, geschützt gegen „Berührung mit der Ohrmuschel oder dem Kopfputz der Damen“. Über dem Lineal gleitet klemmend ein kleiner Stimmklotz, mit dem die wirksame Länge der Saite eingestellt werden kann. Zum Anreiben wird ein Filzscheibchen verwendet, das in den Schraubstopfen eines Fläschchens eingesetzt ist und von dem darin enthaltenen Benzol durchtränkt wird. Zur Prüfung der Luftleitung wurde das Instrument „mit dem Schnabel frei vor den äußeren Gehörgang“ gehalten; zur Prüfung der Knochenleitung wird der Schnabel auf das Planum mastoideum aufgesetzt. Auf der Abb. 4 demonstriert Struycken selbst den Gebrauch des Instrumentes; er merkt hierzu aber kritisch an, „der kleine Knabe habe den Kopf ein wenig zu viel auf die andere Schulter geneigt“.

Struycken hat, um die produzierten Tonhöhen genau messen zu können, eine ganze Reihe einfallsreicher Verfahren erdacht und virtuos eingesetzt [10,11]. Ein Prinzip war das folgende: auf die Saite, die zu Longitudinalschwingungen angeregt werden sollte, wurde eine winzige Borste aufrecht stehend aufgeklebt. Unter mikroskopischer Betrachtung, z.B. 20fach, erschienen die Schwingungen dann als Unschärfe der Borste. In ähnlicher Weise wurden die Schwingungen einer geeichten Stimmgabel sichtbar gemacht und in das Gesichtsfeld desselben Mikroskops projiziert. Dann wurde, während Stimmgabel und Saite gleichzeitig tönend, vor einem Schlitz im Gesichtsfeld des Mikroskops eine photographische Platte im freien Fall mit einer Geschwindigkeit von 10 m pro Sekunde vorbeigeführt. Hierbei wurden die dem Auge nur als Unschärfe erscheinenden Schwingungen der Gabel und der



Abb. 4 H. J. L. Struycken demonstriert die Prüfung der Knochenleitung mit seinem Monochord (aus Struycken 1912).

Seite parallel nebeneinander als ausgezogene Kurve, bzw. Schattenband mit gezacktem Rand abgebildet. Dann konnte man die von der Saite produzierten Zacken auszählen, wobei der von der Stimmgabel gezeichnete Kurvenzug mit bekannter Schwingungszahl als Bezugsgröße diente. In einer Ära, in der elektronische Hilfsmittel, wie etwa Oszillographen, noch nicht zur Verfügung standen, fanden dieses und andere von Struycken entwickelte Verfahren zur Messung von Schall-schwingungen die uneingeschränkte Anerkennung bei den Physikern und Physiologen der Zeit. Sie wurden z.B. ausführlich in dem vielbändigen „Handbuch der Physiologischen Methodik“ von 1914 dargestellt. Als Leistung eines in einer Kleinstadt praktizierenden Ohrenarztes verdienen sie auch heute noch größte Hochachtung.

Die Verbesserung des Struyckenschen Monochords durch Schaefer

Das Struyckensche Monochord wurde sofort als gut handbares Instrument akzeptiert, denn mit ihm konnte der Bereich von etwa 5000 Hz aufwärts bis über die obere Hörgrenze hinaus für Luft- und Knochenleitung kontinuierlich gemessen werden. Da die Stimmgabeln der Bezdol-Edelmanschen kontinuierlichen Tonreihe aber nur bis 870 Hz hinauf reichten, klaffte eine Lücke, in der die Knochenleitung nur mit einzelnen, nicht in der Tonhöhe veränderlichen Stimmgabeln geprüft werden konnte. K. L. Schaefer schlug deshalb vor, die Saite des Struyckenschen Monochords durch Anschlagen mit einem Hämmerchen oder Streichen mit einem Geigenbogen auch zu Transversalschwingungen anzuregen, die bei gleicher Saitenlänge sehr viel tiefer sind als die durch Reiben in der Längsrichtung erzeugten Longitudinalschwingungen [5].

Schaefer war Leiter des physiologischen Laboratoriums an der Ohrenklinik der Charité in Berlin, dem ersten Institut dieser Art in der Welt. Passow hatte es bei seiner Berufung von Heidelberg auf den Lehrstuhl der Ohrenheilkunde in Berlin eingerichtet. Beide gründeten 1908 die hochangesehene Zeitschrift „Passow-Schaefers Beiträge zur Anatomie, Physiologie,



Abb. 5 Unten: Monochord nach Schulze, Länge 30 cm, Silberdraht. Auf dem Bodenbrett sind Skalen mit den Frequenzen 5524 bis 33104 Hz und den musikalischen Notierungen von f bis c⁷ eingetragen. Oben: Monochord nach Struycken-Schaefer der Fa. Pfau, Berlin im Kaliko-Etui. Hinten links der Geigenbogen, rechts daneben der Spanner mit der Elfenbeinskala; in der Mitte das eigentliche Monochord mit dem Handgriff; links der „Schnabel“ und die Umkleidung der Saite mit einer kleinen Röhre, rechts die Spannschraube. Vor links eine Stimmgabel für die Feineichung, davor ein Behälter mit Benzol und dem Filzlappchen, rechts das Hämmerchen, eine Schachtel mit Kolophonium und ein Elfenbeinring, der bei Prüfung der Knochenleitung zur Verbreiterung des Schnabels aufgesetzt werden konnte (aus der Sammlung im Deutschen Medizinhistorischen Museum in Ingolstadt).

Pathologie und Therapie des Ohres, der Nase und des Halses“, die bis 1933 Bestand hatte.

Für die Verwendung der Transversalschwingungen mußte allerdings die Spannung der Saite genau eingestellt werden, ähnlich wie bei der Stimmung eines Musikinstrumentes. Hierzu schuf Struycken, der nun mit Schaefer eng zusammen arbeitete, wieder eine sinnreiche Vorrichtung. Eine längliche Stahlplatte, der „Spanner“, wurde so mit zwei daran befindlichen Haken zwischen der Saite und der Schiene des Monochords aufgehängt, daß sie wie ein Hebel auf die Saite drückte. Dann wurde mit der Schraube am einen Ende des Bügels die Spannung der Saite variiert, wobei sich die Stahlplatte entsprechend hob oder senkte. Die richtige Spannung war erreicht, wenn eine bestimmte Marke auf einem Elfenbeinplättchen am Ende der Platte mit der Saite in einer Höhe stand. Die Feinabstimmung konnte dann noch mit einer Stimmgabel vorgenommen werden.

Bei der Prüfung im unteren Bereich (von 870 Hz aufwärts) wurde die Saite mit einem Geigenbogen angestrichen, im höheren Bereich der Transversalschwingungen (etwa 2000 bis 5000 Hz) wurde sie mit einem „leicht federnden, keilförmig angeschärften, belederten Holzhämmerchen“ angeschlagen; für die hohen Töne oberhalb 5000 Hz wurde die Saite durch Reiben entlang der Längsachse in Longitudinalschwingungen versetzt. Die erzielten Tonhöhen waren an zwei Skalen abzulesen, einmal in Schwingungszahlen bis 25000 Hz, zum anderen in musikalischer Notierung bis g⁷.

Das Instrument sollte bei der Prüfung der Luftleitung mit dem „Schnabel“ an eine Tischkante angedrückt werden, um die Tischplatte als Resonator zu benutzen, bei Prüfung der Knochenleitung wurde es auf den Warzenfortsatz gesetzt (Abb. 4).

Die Abb. 5 zeigt dieses komplette Instrumentarium. Es stand etwa ab 1913 zur Verfügung, wurde ausschließlich von der Fa. H. Pfau in Berlin vertrieben und kostete damals im Kaliko-Etui 79,50 M.

In dieser Version ist das Struycken-Schaefer'sche Monochord bis zum Beginn der elektronischen Ära der Audiometer ein viel benutztes Instrument gewesen, das in keiner Ohrenklinik und keiner gut ausgestatteten Praxis fehlen durfte. Ein schwerwiegender Mangel haften ihm aber immer noch an: Die Lautstärke der produzierten Töne ließ sich nur in sehr geringem Umfang variieren und kaum messen oder eichen. Während im tiefen und mittleren Bereich des Hörfeldes durch die Abklingzeit der Stimmgabeln in Verbindung mit der Bestimmung der Hördauer schon ein relatives logarithmisches Maß für die Lautstärke bzw. den Hörverlust zur Verfügung stand, konnte die obere Hörgrenze nur durch eine Dimension, die der Tonhöhe, definiert werden, nicht aber durch die zweite, ebenso wichtige Dimension, die der Intensität.

Literatur

- Feldmann, H.: Die Galton-Pfeife und die Entdeckung der Altersschwerhörigkeit. Bilder aus der Geschichte der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, dargestellt an Instrumenten aus der Sammlung im Deutschen medizinhistorischen Museum in Ingolstadt. Laryngo-Rhino-Otol. 74 (1995) 329–334
- Helmholtz, H.: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1863
- Otterbach, F.: Schöne Musikinstrumente. Schuler, München 1975
- Savart, F.: Über die Empfindlichkeit des Gehörgangs. Poggen-dorfs Ann. Phys. Chem. 20 (1830) 290–304
- Schaefer, K. L.: Über eine Erweiterung der Anwendbarkeit des Struyckenschen Monochords. Vortrag auf der Sitzung der Berliner Otologischen Gesellschaft am 13.1.1911, Passow-Schaefers Beiträge 4 (1911) 376–382
- Schaefer, K. L.: Untersuchungsmethodik der akustischen Funktionen des Ohres. In Tigerstedt, R. (Hrsg.): Handbuch der physiologischen Methodik. 3. Bd., Abt. IIIb, Sinnesphysiologie IIIb. Hirzel, Leipzig 1914 (204–394)
- Schulze, F. A.: Monochord zur Bestimmung der oberen Hörgrenze und der Perzeptionsfähigkeit des Ohres für sehr hohe Töne. Z. Ohrenheilk. 56 (1908) 167–173
- Schulze, F. A.: Die obere Hörgrenze und ihre exakte Bestimmung. Passow-Schaefers Beiträge 1 (1908) 134–151
- Struycken, H. J. L.: Die obere Hörgrenze für Luft- und Knochenleitung. Passow-Schaefers Beiträge 3 (1910) 406–412
- Struycken, H. J. L.: Beobachtungen über die physiologische obere Hörgrenze für Luft- und Knochenleitung. Passow-Schaefers Beiträge 5 (1912) 1–6
- Struycken, H. J. L.: Tabellen über die obere Hörgrenze bei pathologischen Verhältnissen. Passow-Schaefers Beiträge 6 (1913) 289–301

Prof. Dr. Harald Feldmann

Univ.-HNO-Klinik
Kardinal-von-Galen-Ring 10
48149 Münster