

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

---

*E 559/1963*

## **Tonschwingungen des Schalleitungsapparates der Meerschweinchenbulla**

Mit 1 Abbildung

GÖTTINGEN 1964

---

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Der Film ist ein Forschungsdokument und wurde zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht  
Länge der Kopie (16-mm-Stummfilm, schwarz-weiß): 67 m  
Vorföhrdauer: 6 Min. — Vorföhrgeschwindigkeit: 24 B/s

Der Film zeigt die Schwingungsvorgänge in der Bulla des lebenden Tieres. In Mikroaufnahmen sind Trommelfell, Schenkel von Hammer und Amboß, Steigbügelköpfchen und Membran des runden Fensters so dargestellt, daß ihre Bewegungsformen miteinander verglichen werden können. In starker Zeitdehnung werden die Schwingungen — mit den Einschwingvorgängen beginnend — bei relativ großen Lautstärken gezeigt. Die über den Gehörgang applizierten Töne liegen in den unteren und mittleren Frequenzen des menschlichen Hörbereiches. Die ausgewählten Beispiele enthalten außerdem auch Kombinationen von Tönen, wobei der Rhythmus des Schwingungsbildes deutlich wird, und Geräusche, welche in ihrer völligen Unregelmäßigkeit erscheinen.

Die Aufnahme des Films erfolgte mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Jahre 1963 durch das Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen  
(Direktor: Dr.-Ing. G. WOLF)

Sachbearbeitung: Dr. K.-H. HÖFLING

Aufnahme: E. HEYSE

Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. W. WAGEMANN  
Hals-, Nasen- und Ohrenklinik der Universität Kiel  
(Direktor: Prof. Dr. E. MÜLLER)

# **Tonschwingungen des Schalleitungsapparates der Meerschweinchenbulla**

W. WAGEMANN, Essen

## **Allgemeine Vorbemerkungen**

### **1. Anatomische Bemerkungen**

Die Meerschweinchenbulla sitzt dem Schädel seitlich auf. Ihre knöcherne Kapsel wird nur hinten oben durch das zeltförmig hineinragende Trommelfell ersetzt. In dem lufthaltigen Hohlraum befindet sich der gesamte periphere Hörapparat.

Hammer-Amboß stellen ein einziges Knöchelchen dar, welches an einer um sich selbst rotierenden Säule neben einer Art antralem Fortsatz einen Trommelfellfortsatz (dem Hammergriff des Menschen entsprechend) und einen Steigbügelfortsatz (Amboßschenkel) besitzt. Da kein Gelenk vorhanden ist, sind die Bewegungen der Fortsätze gleichsinnig. Dagegen sind Amboßschenkel und Steigbügel gelenkig verbunden und stehen in einem ungefähr rechten Winkel zueinander. Der Film zeigt in seiner ersten Einstellung das Zusammenspiel dieses ganzen Bulla-Apparates. Der Stapes hat wie beim Menschen die typische Steigbügelform und läßt zwischen seinen Schenkeln deutlich sichtbar die *A. stapedia* verlaufen. Er lagert mit seiner Fußplatte im ovalen Fenster an der Schneckenbasis. Hier beginnt die Skala vestibuli (Vorhofstreppe).

Die Schnecke des Meerschweinchens nun ragt peripherwärts (ventro-eranio-lateral) mit ihren knapp viereinhalb Windungen in die Bulla hinein. Die Skala tympani (Paukentreppe) wölbt sich in Sicht von hinten in Schneckenbasinähe wulstförmig in die Bulla vor und wird schließlich durch die Membran des runden Fensters gegen die Paukenhöhle abgegrenzt. Diese Membran steht wie beim Menschen etwa rechtwinklig zum ovalen Fenster. Der Film zeigt von der zweiten Einstellung ab die Situation von seitlich hinten gesehen — also das wulstförmig umgrenzte runde Fenster und dahinter (im Bild darüber sichtbar) das Amboß-Steigbügelgelenk mit den angrenzenden Gehörknöchelchenpartien.

Der Binnenohrmuskelapparat, der in Knochenkanälen im oberen Bullagebiet verläuft, ist für seine Regulations- und Schutzaufgaben (vornehmlich Minderung großer Amplituden tiefer Töne) im Film voll funktionstüchtig erhalten.

## 2. Physiologische Bemerkungen

Der Schall versetzt das Trommelfell, welches unterhalb des eingelagerten Hammergriffes seine größte Schwingungsweite hat, in eine erzwungene Schwingung. Dieses Schwingungssystem reicht bis zur Flüssigkeit der Schnecke und wird durch die elastische rücktreibende Kraft, die bewegte Masse und die Reibung (Dämpfung) bestimmt. Bewegt sich der Hammergriff einwärts, wird auch der Steigbügel mit seiner Fußplatte einwärts — in die Schnecke hinein — gedrückt. Der Schalleitungsapparat bewirkt eine Transformation der Schallenergie, die sich im wesentlichen in einer Steigerung des Druckes ausdrückt. Demgegenüber verkleinert sich die Amplitude, wie in den Filmaufnahmen auch gut erkannt werden kann. Große Lautstärken sollen die Bewegungsart der Steigbügel Fußplatte derartig wandeln, daß aus der Stempelbewegung eine Kipp- und schließlich eine Schaukelbewegung wird (von BEKESY<sup>1)</sup>), woraus eine Schutzwirkung gegen große Intensitäten resultiert.

Die erste Aufnahme eines Präparates demonstriert, daß hier die Stempelbewegung vorherrschend bleibt.

Da im Film sowohl die Stapesbewegung als auch die weitgehend daraus resultierende Schwingung der Membran des runden Fensters gleichzeitig beobachtet werden können, seien die Vorgänge jenseits der Fenster knapp skizziert. Die Bewegung des Steigbügels versetzt die Perilymphe in eine hydrodynamische Schwingung. Es entsteht eine Wanderwelle, die an einem (frequenz-)bestimmten Punkt der Basilarmembran ihr Optimum besitzt und danach steil abfällt. Dabei bewegt sich die Perilymphe sowohl längs wie quer zur Basilarmembran. Die Phase der Längsbewegung in der Skala tympani ist jener in der Skala vestibuli entgegengesetzt. Einer Einwärtsbewegung des Steigbügels entspricht eine Auswärtswölbung des runden Fensters. Sehr vereinfacht kann man die Lage der Membran des runden Fensters (etwa senkrecht zum Trommelfell und) annähernd parallel zur Basilarmembran bezeichnen. Insofern mag auch die Querbewegung der Perilymphe frequenzabhängig eine Rolle im Bewegungsbild der Fenstermembran spielen.

Die Bewegung am runden Fenster hinkt zeitlich jener des Stapes in der Größenordnung von  $10^{-5}$  s nach. Die für die einzelnen Frequenzen gültigen genaueren Zahlen lassen sich in diesem Film messen und auswerten, womit ein Weg zur Bestimmung der Frequenzlokalisation in der Schnecke gegeben ist. In ähnlicher Weise lassen sich auch die Ein- und Ausschwingvorgänge darstellen.

---

<sup>1)</sup> G. v. BEKESY, Zur Physik des Mittelohres usw. Akust. Z. 1 (1936), 13.

### 3. Methodische Bemerkungen

Die Versuche sind an lebenden Meerschweinchen vorgenommen worden. In den hinteren Partien der Bulla wurde mikrochirurgisch eine Öffnung sorgfältig präpariert, damit keine Schädigung des Bulla-Apparates eintrat. Das gekühlte, zentrierte Licht der Xenonlampe führte nach einiger Zeit zu Schleimhautreaktionen, so daß häufigere Aufnahmen am gleichen Tier nicht durchgeführt werden konnten. Deshalb ist zu beachten, daß die Aufnahmen von verschiedenen Tieren stammen und daher die Amplituden nur bedingt miteinander verglichen werden können. Abgesehen von geringen Abweichungen bei der Schallapplikation sind die Blickrichtungen keineswegs völlig identisch. Des weiteren ist anzunehmen, daß, wie beim Menschen, auch beim Meerschweinchen der gleiche Schall von Individuum zu Individuum verschiedene Obertöne bzw. leicht variierende Amplitudenbilder hervorruft.



Mittelohr des Meerschweinchens  
Sicht auf Trommelfell und Steigbügel von vorn  
(Aufnahme aus dem Film)

Die Aufnahmen erfolgten mit einer modifizierten Hochfrequenzkamera Fastax mit einer Aufnahme­frequenz mit 4000 bis 8000 Bildern pro Sekunde. Auf dem 16-mm-Film wird jenseits der Perforation auf einem Rand eine Zeitmarke — welche die Filmgeschwindigkeit ermitteln läßt —, und auf dem anderen Rand eine Tonmarke aufgezeichnet, die von der Schallquelle übertragen wurde und die Amplituden der Schwingung angibt. Aus beiden Marken läßt sich die genaue Frequenz errechnen.

Die vorliegenden ausgewählten Beispiele stellen nur kurze Ausschnitte aus längeren Filmstreifen dar. Einen Anhalt für die Größenverhältnisse gibt die Bildbreite vom rechten bis zum linken Bildrand. Sie liegt bei den ersten beiden Einstellungen in der Größenordnung von 4 mm, bei den folgenden von 2 mm.

### **Filminhalt**

*Präparat<sup>1)</sup> — Trommelfell und Steigbügel von vorn*  
*Lautstärke am Trommelfell 120 dB<sup>2)</sup> Tonfrequenz 250 Hz*  
*4800 B/s*

1. Die Schwingungsform des Trommelfells mit dem caudal des Hammergriffes liegenden Optimum ist von der Seite zu erkennen. Der Hammergriff steht mit einer in die Bildtiefe gehenden, um sich selbst rotierenden Knochensäule in Verbindung. Von dieser geht auch der Steigbügelfortsatz (Amboßschenkel) aus, der gelenkig mit dem Stapes verbunden ist. Er führt bei der großen Lautstärke nicht, wie zu erwarten, eine reine Kippbewegung durch, sondern in der Hauptsache eine Stempelbewegung, in der eine Kippbewegung enthalten ist. — Bildbreite 4 mm, Vorführdauer 44 s.

*Lebendes Tier*  
*Lautstärke am Trommelfell 100—110 dB*  
*Trommelfell und Steigbügel von hinten oben*  
*Tonfrequenz 500 Hz*  
*4000 B/s*

2. Der Ton setzt — wie auch bei einigen folgenden Aufnahmen — bei laufender Kamera ein. Die Einschwingungsvorgänge sind also dargestellt, bedürfen indessen aufmerksamer und wiederholter Beobachtung, um einen genaueren Eindruck zu erzielen. Im Blick von hinten sieht man schwingend das Trommelfell, den Schenkel des Hammer-Amboß und das Stapesköpfchen. Die Steigbügelschenkel verschwinden hinter dem Wulst des runden Fensters. — Bildbreite 4 mm, Vorführdauer 30 s, Lautstärke 107 dB.

*Steigbügelköpfchen und Membran des runden Fensters von hinten oben*  
*250 Hz*  
*4000 B/s*

3. Der optische Vergleich in größenmäßiger und zeitlicher Zuordnung von Steigbügelköpfchen und Membran des runden Fensters wird dadurch

<sup>1)</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

<sup>2)</sup> Absolute Dezibel (dB), auf  $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{-Bar}$  zu beziehen.

erleichtert, daß sich auf der Fenstermembran Gefäßwindungen abzeichnen. — Bildbreite 2 mm, tatsächliche Aufnahmedauer 0,29 s, Vorführdauer 52 s, Lautstärke 110 db.

1000 Hz  
8000 B/s

4. Steigbügelköpfchen und Membran des runden Fensters (wie 3. Einstellung). Bei dieser höheren Frequenz (1000 Hz) läuft die Kamera mit über 8000 B/s doppelt so schnell wie in der vorigen Aufnahme, weswegen trotz vierfacher Tonfrequenz die Schwingung nur doppelt so rasch erscheint. Es werden im ganzen 60 Perioden vorgeführt. — Bildbreite 2 mm, tatsächliche Aufnahmedauer 0,06 s, Vorführdauer 22 s, Lautstärke 105 db.

250 und 500 Hz  
4000 B/s

5. Der optische Eindruck vermittelt das Schwingungsbild, das zwei gleichlauten Tönen im Abstand einer Oktave entspricht. — Bildbreite 2 mm, Vorführdauer 32 s, Lautstärke um 105 dB.

*Geräusch (white noise)*  
5000 B/s

6. Einstellung wie 3. Am Steigbügelköpfchen sind die unregelmäßig auftretenden tieferen Frequenzen des Geräusches deutlich zu erkennen, weniger die höheren. Die Bewegung der runden Fenstermembran ist nicht ganz so einfach zu beobachten. — Bildbreite 2 mm, Vorführdauer 22 s, Lautstärke 100 dB.

7. Um auch die Schwingung der Membran des runden Fensters dem Auge zugänglich zu machen, wurde ein Wassertröpfchen auf das runde Fenster appliziert, welches allerdings verfälscht und Vergleiche ausschließt. Immerhin wird dadurch aber die Bewegung deutlicher sichtbar, so daß sich nun auch in den Reflexveränderungen höhere Frequenzen darstellen. — Aufnahmegeschwindigkeit 5000 B/s, Bildbreite 2 mm, tatsächliche Aufnahmedauer 0,12 s, Vorführdauer 30 s, Lautstärke 100 dB.

*Geräusch (100 dB) und Ton 500 Hz (105 dB)*  
5000 B/s

8. Einstellung wie 3. Dem Geräusch ist nun ein Ton von 500 Hz hinzugegeben. Dieser ist fünf bis sechs dB lauter als das Geräusch — wird also aus dem Geräusch herausgehört. Indessen ist auch bei wiederholter Beobachtung des gesamten Original-Filmstreifens kein stetiger 500-Hz-Rhythmus völlig sicher herauszusehen. — Bildbreite 2 mm, tatsächliche Aufnahmedauer 0,18 s, Vorführdauer 44 s.