



## Technische Dokumentation - Tülip

### Akustische Performance von Tülip

#### Einführung

Bei der Entwicklung eines neuen Stethoskops kommt es neben Eigenschaften wie der Langlebigkeit o. leichten Reinigung insbesondere auf die akustische Qualität an. Um diese für unser Stethoskop Tülip gewährleisten zu können, haben wir zusammen mit der technischen Hochschule Köln ein Set-up entwickelt, mit dessen Hilfe aufwendige Akustik-Tests durchgeführt werden können, um die beste Qualität bzgl. der Auskultation zu gewährleisten.

#### Anforderungen an ein Stethoskop bzgl. der Auskultation:

- Instrument sollte einen hohen Anteil an mechanischer Energie aus dem Körperinneren in Schallwellen umwandeln, damit diese vom Nutzer wahrgenommen werden können
- Stethoskop darf übertragene Energie nicht abschwächen, da Ausgangsenergie der Körpergeräusche bereits sehr gering ist  
→ weitere Abschwächung könnte wichtige o. charakteristische Geräusche abdecken

#### Körpergeräusche und deren Frequenz

*Tabelle 1: Körpergeräusche und deren Frequenzbereich, eigene Darstellung*

| Geräusch   | Frequenzbereich |
|--|-----------------|
| Gastrointestinal   | 97 - 1034 Hz    |
| Kardial (Herzgeräusche, Mitralstenose)   | 22 - 281 Hz     |
| Kardial (Ventrikelseptumdefekt, Vorhofseptumdefekt, Aortenstenose und Pulmonalstenose) | 205 - 775 Hz    |
| Atmung   | 689 - 2584 Hz   |





## Material & Methoden

Der Ansatz des Prüfaufbaus, um die Qualität der Auskultation nachweisen zu können, basiert auf den in Renoll, 2021 und Weiss, 2019 erwähnten Methoden. Stethoskope werden mittels eines akustischen Phantoms getestet, das die akustischen Eigenschaften des menschlichen Körpers nachbilden soll. In der Abbildung ist das grobe Schemata des Testaufbaus zu sehen.

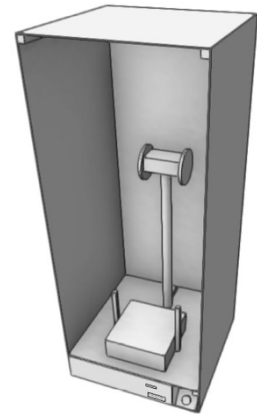


Abbildung 1: Schema des Test-Systems, eigene Darstellung

## Durchführung

- Gemessene Frequenz liegt zwischen 20 Hz und 2kHz (x-Achse)  
→ Spektrum der Frequenzen von Geräuschen im menschlichen Körper, die mit einem Stethoskop wahrgenommen werden können
- Y-Achse stellt den Schalldruckpegel dar
- Jeder Graph spiegelt den Durchschnitt von zehn Messungen wider
- Ballistische Gelatine stellt menschliche Haut dar
- 200g- & 1kg-Gewichte simulieren den Druck, der während der Auskultation ausgeübt wird
- Ein hochempfindliches Mikrofon zeichnet Frequenzgang der Membran auf
- Die Durchführung findet in einer isolierten Umgebung statt

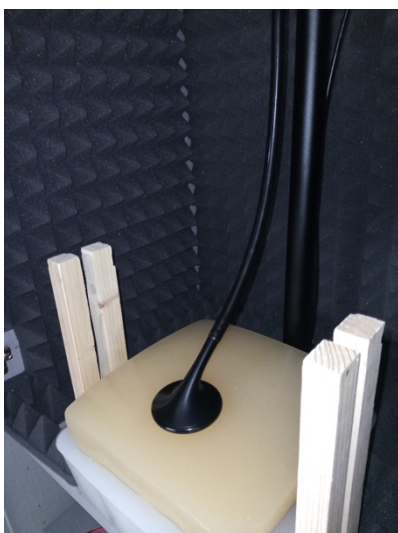


Abbildung 2: Auflegen des Bruststücks auf Gelatine-Block, eigene Aufnahme



Abbildung 3: Einsetzen der Ohrbügel in das Messgerät, eigene Aufnahme





## Ergebnisse

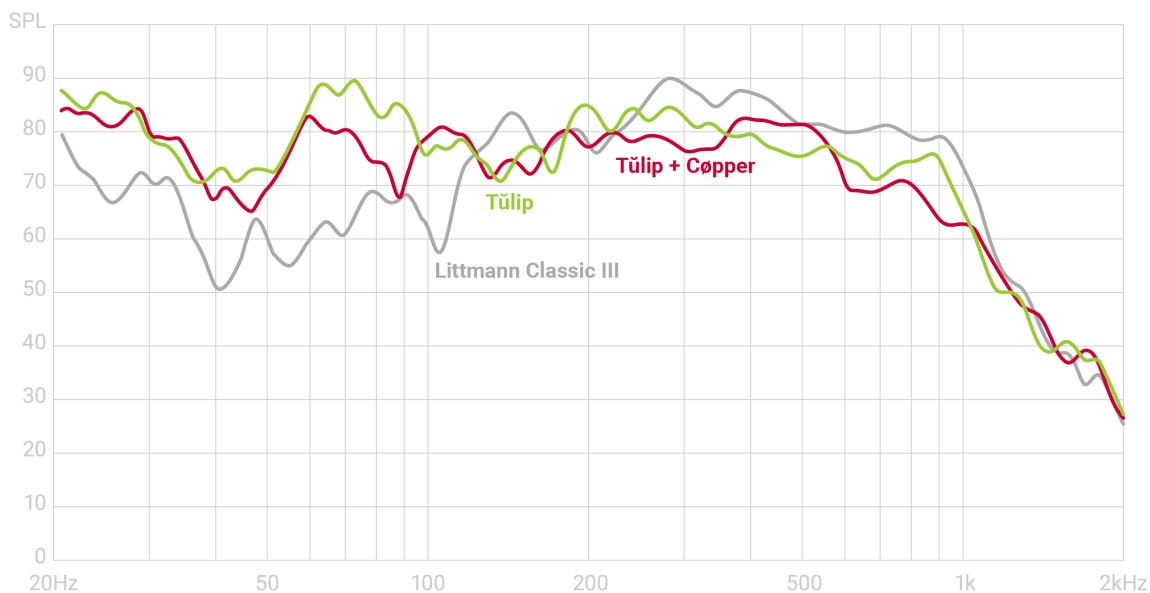


Abbildung 2: graphische Darstellung der Ergebnisse der Akustikprüfung der getesteten Stethoskope jeweils mit 1kg Gewicht, eigene Darstellung

Tabelle 2: Ergebnisse der untersuchten Stethoskope abhängig vom Frequenzbereich, eigene Darstellung

| Stethoskop                                       | Darstellung     | <160Hz   | >160Hz   | >1kHz                                    |
|--|-----------------|--|--|--|
| <b>Tulip</b>                                     | Grüne Kennlinie | Delta von 20 dB; max. SPL bei 90 dB                | Kurve recht konstant, einzelne kleine Peaks, SPL liegt zwischen 70 und 85 dB | Kurve fällt stark ab, bis. 25dB bei 2kHz |
| <b>Tulip mit Cøpper</b>                          | Rote Kennlinie  | Delta von 18 dB; max. SPL bei 83 dB                | Relativ Konstant, fällt bei 550 Hz ab  | Kurve fällt weiter ab                    |
| <b>Littmann Classic III, Referenz-Stethoskop</b> | Graue Kennlinie | Delta von 35 dB; Starke Einbrüche → Min. bei 50 dB | Konstante Werte mit Max. von 90 dB; SPL liegt zwischen 75 und 90 dB          | Kurve flacht extrem ab                   |





## Auswertung

Der Graph zeigt, dass Tülip konstante Werte und wenig Einbrüche aufweist. Insbesondere im Niederfrequenzbereich ( $<160\text{Hz}$ ) ist der SPL mind. 10 dB höher als der des Referenz-Stethoskops. Im Frequenzbereich  $>160\text{Hz}$  werden beim Referenzstethoskop höhere Werte als bei Tülip gemessen. Die Differenz im gesamten Frequenzbereich liegt im Durchschnitt bei lediglich 2 dB. Es werden höhere Frequenzen aufgezeichnet, wenn das 1kg-Gewicht genutzt wird. Der Graph von Tulip mit Cøpper weist die niedrigsten Pegel auf. Im Niederfrequenzbereich liegen die Werte weiterhin über denen vom Littmann Classic III. Auffällig ist, dass der Schalldruckpegel bereits bei 500Hz fällt.

## Interpretation

Ein hoher SPL, dient als Kennzahl für die Effizienz der Umwandlung von mechanischer Energie in akustische Energie. Ein Größenverlust in bestimmten Bereichen des Spektrums kann dazu führen kritische Geräusche während der Auskultation nicht zu hören. Niedrige Pegel können bspw. durch zu steife Membranen, einer Blockade des Schlauchs, einem nicht luftdichtem Stethoskop oder falsch sitzenden Ohroliven hervorgerufen werden.

Tülip liefert konstant hohe Werte und weist wenige Einbrüche auf. Folglich können alle relevanten Geräusche des menschlichen Körpers (s. Tabelle 1) mit Tülip wahrgenommen werden. Insbesondere Herzgeräusche können besser auskultiert werden, als mit dem Referenzstethoskop. Übt der Anwender mehr Druck auf das Bruststück aus, so erhöht sich die Qualität der Auskultation.

Die Auskultation ist eine sehr subjektive Wahrnehmung, bei der die Erfahrung des Anwenders eine wichtige Rolle spielt. Folglich stellt die rein technische Bewertung kein vollständiges Bild der Qualität für den Nutzer dar. Dennoch ist die akustische Leistung des Stethoskops ein signifikanter Ausgangspunkt. Nur so kann gewährleistet werden, dass das Stethoskop die Arbeit des Anwenders bestmöglich unterstützt.





# Technical Documentation - Tülip

## Acoustic Performance of Tülip

### Introduction

In addition to features such as durability and easy cleaning, the acoustic quality is particularly important in the development of a new stethoscope. In order to ensure the best quality in terms of auscultation for our stethoscope Tülip, we have collaborated with the Technical University of Cologne to develop a setup that allows for extensive acoustic testing.

### Requirements for a stethoscope in terms of auscultation:

- The instrument should convert a high proportion of mechanical energy from the body's interior into sound waves so that they can be perceived by the user
- The stethoscope must not attenuate transmitted energy, as the original energy of body sounds is already very low  
→ Further attenuation could mask important or characteristic sounds

### Body sounds and their frequency

*Table 1: Body sounds and their frequency range, own representation*

| Sounds   | Frequency range |
|--|-----------------|
| Gastrointestinal   | 97 - 1034 Hz    |
| Cardiac (murmurs, mitral stenosis)   | 22 - 281 Hz     |
| Cardiac (ventricular septal defect, atrial septal defect, aortic stenosis and pulmonic stenosis) | 205 - 775 Hz    |
| Respiratory  | 689 - 2584 Hz   |





## Materials & Methods

The approach of the test setup to demonstrate the quality of auscultation is based on the methods mentioned in Renoll, 2021 and Weiss, 2019. Stethoscopes are tested using an acoustic phantom that aims to replicate the acoustic properties of the human body. The figure shows a schematic overview of the test setup.

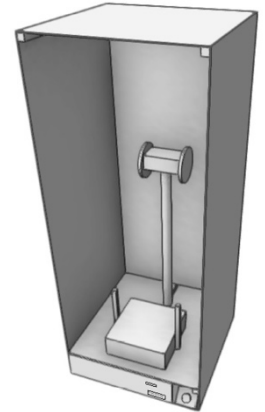


Figure 1: Schematic of the Test System, own representation

### Procedure:

- The measured frequency ranges from 20 Hz to 2 kHz (x-axis)  
→ Spectrum of frequencies of sounds in the human body that can be perceived with a stethoscope
- The y-axis represents the sound pressure level
- Each graph reflects the average of ten measurements
- Ballistic gelatin represents human skin
- 200g and 1kg weights represent the pressure exerted during auscultation
- A high sensitivity microphone is used to record the response of the diaphragm
- The recording takes place in an isolated chamber

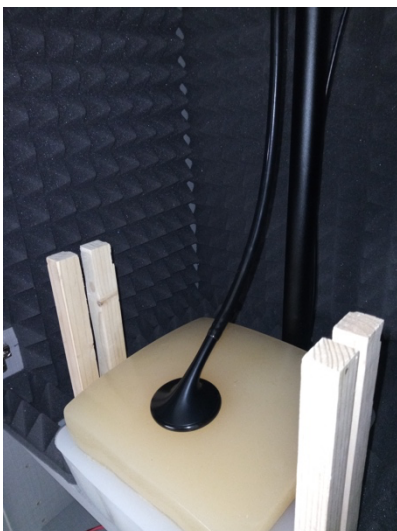


Figure 2: Placing the chest piece on a block of gelatin, self-captured



Figure 3: Insertion of the earloops into the measuring device, self-captured





## Results

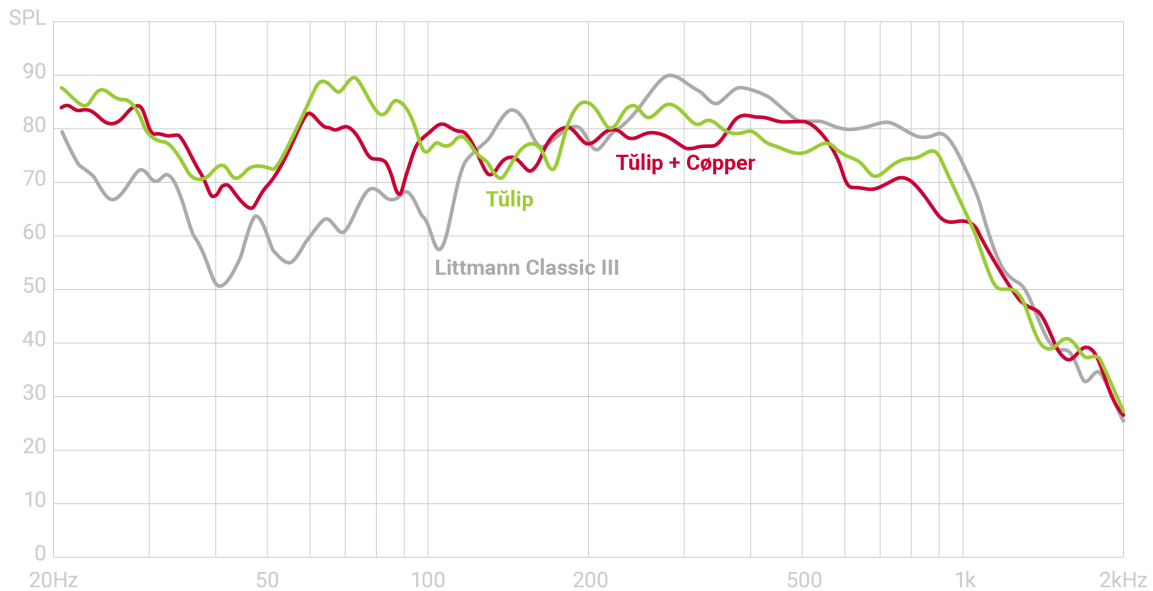


Figure 3: Graphic representation of the results from the acoustic testing of the tested stethoscopes, each with a 1kg weight, own representation

Table 3: Results of the tested stethoscopes depending on the frequency range, own representation

| Stethoscope  | Representation | <160Hz   | >160Hz  | >1kHz                                 |
|--|----------------|--|---|---------------------------------------|
| <b>Tülip</b>                                       | Green line     | Delta of 20 dB; max. SPL at 90 dB                | Curve remains relatively constant with occasional small peaks, SPL ranging between 70 and 85 dB | Curve drops sharply to 25 dB at 2 kHz |
| <b>Tülip with Cøpper</b>                           | Red line       | Delta of 18 dB; max. SPL at 83 dB                | Relatively constant, drops at 550 Hz  | Curve continues to decline            |
| <b>Littmann Classic III, Reference-stethoscope</b> | Grey line      | Delta of 35 dB; significant dips → Min. at 50 dB | Constant values with a peak at 90 dB; SPL ranging between 75 and 90 dB.                         | Curve flattens out significantly      |





## Analysis

The graph shows that Tülip has consistent values with minimal dips. Especially in the low-frequency range (<160Hz), the sound pressure level (SPL) of Tülip is at least 10 dB higher than that of the reference stethoscope. In the frequency range >160Hz, the reference stethoscope shows higher values compared to Tülip. The overall difference in the entire frequency range is on average only 2 dB. Higher frequencies are recorded when using the 1kg weight.

The graph of Tülip with Cøpper shows the lowest levels. In the low-frequency range, the values still remain above those of the Littmann Classic III. It is noticeable that the sound pressure level drops already at 500Hz.

## Interpretation

A high SPL serves as an indicator of the efficiency of converting mechanical energy into acoustic energy. A loss in magnitude in certain areas of the spectrum can result in critical sounds being missed during auscultation. Low levels can be caused by factors such as too stiff diaphragms, hose blockage, non-airtight stethoscope, or ill-fitting ear tips.

Tülip consistently delivers high SPL values with minimal dips, indicating that it can perceive all relevant sounds of the human body (as shown in Table 1). In particular, heart sounds can be auscultated better with Tülip compared to the reference stethoscope. Applying more pressure on the chest piece improves the quality of auscultation.

Auscultation is a highly subjective perception, where the experience of the user plays an important role. Therefore, the purely technical evaluation does not provide a complete picture of the quality for the user. However, the acoustic performance of the stethoscope is a significant starting point to ensure that the stethoscope supports the user's work to the best possible extent.







## References

1. **Rennoll V**, McLane I, Emmanouilidou D, West J, Elhilali M. Electronic Stethoscope Filtering Mimics the Perceived Sound Characteristics of Acoustic Stethoscope. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2021 May;25(5):1542-1549. doi: 10.1109/JBHI.2020.3020494. Epub 2021 May 11. PMID: 32870803; PMCID:PMC7917155. <https://doi.org/10.1109/jbhi.2020.3020494>
2. **Weiss D**, Erie C, Butera J 3rd, Copt R, Yeaw G, Harpster M, Hughes J, Salem DN. An in vitro acoustic analysis and comparison of popular stethoscopes. *Med Devices (Auckl).* 2019 Jan 15;12:41-52. doi: 10.2147/MDER.S186076. PMID: 30697087; PMCID: PMC6339642. <https://doi.org/10.2147/mder.s186076>

