

# **WILHELM-DIESS-GYMNASIUM POCKING**

**Qualifikationsphase 2020/2021**

## **SEMINARARBEIT**

<b>Leitfach</b>	<b>Physik</b>	
<b>Rahmenthema des Seminars</b>	<b>Physik der Superhelden</b>	
<b>Thema der Seminararbeit</b>	<b>Blind wie eine Fledermaus – Daredevil und die Ortung mittels Sonar</b>	
<b>Verfasser</b>	<b>Ria Yu</b>	
<b>Lehrkraft</b>	<b>StR Gerhard Mühlberger</b>	
<b>Abgabetermin</b>	<b>10. November 2020</b>	
<b>Erzielte Note</b>		<b>in Worten</b>
<b>Erzielte Punkte</b>		<b>in Worten</b>

## Inhaltsverzeichnis

1 Erfolgsgeschichte des Superheldenphänomens .....	3
2 Blind wie eine Fledermaus – Daredevil und die Ortung mittels Sonar .....	4
2.1 Erläuterung der Sonartechnik.....	4
2.2 Echoortung in der Biologie anhand der Fledermaus .....	5
2.2.1 Anatomischer Aufbau .....	5
2.2.2 Physikalische Betrachtung .....	7
2.3 Humane Echoortung: Das Klicksonar .....	9
2.3.1 Anatomischer Aufbau .....	10
2.3.2 Vergleich mit der tierischen Echoortung .....	11
2.4 Daredevil Szenenanalyse .....	12
2.4.1 Szene 1 .....	12
2.4.2 Szene 2 .....	14
3 Daredevil: Erfolgreiche Darstellung eines realistischen Superhelden? .....	16
4 Anhang.....	17
5 Abkürzungsverzeichnis .....	20
6 Literaturverzeichnis.....	21
6.1 Primärliteratur.....	21
6.2 Internetadressen.....	21
7 Abbildungsverzeichnis .....	23
8 Eidesstattliche Erklärung .....	24

## 1 Erfolgsgeschichte des Superheldenphänomens

Mit der Veröffentlichung des ersten Superman Comicheftes im Jahre 1938 unter „Detective Comics“ oder auch kurz „DC“ begann ein Zeitalter geprägt von fiktiven Superheld\*innen mit übernatürlichen Fähigkeiten und einem ausgeprägten Drang nach Gerechtigkeit.<sup>1</sup> Ob Superman, Spiderman, Hulk oder Iron Man: an den Heldenfiguren kommt man heutzutage nicht vorbei, ohne ein Wort über sie gehört zu haben. Vor allem in den Kinos gewinnen Superheldenfilme immer mehr an Aufmerksamkeit. So nahm „Marvel Studios“ mit den Filmen des gleichnamigen „Cinematic Universe“ weltweit 22,5 Milliarden USD durch den Kinoticketverkauf ein. Damit konnte die Filmproduktion sich an die Spitze der Filmserien mit den höchsten Bruttoeinnahmen bis April 2020 schlagen (vgl. Anhang 1, S. 17). Doch nicht nur auf den Kinoleinwänden, auch zu Hause per Tablet oder Fernseher kann man mittlerweile die Helden aus Marvel und DC betrachten. So auch Daredevil, dessen Serie auf Netflix mit drei Staffeln bei den Zuschauern großen Anklang fand und mehrere Emmy-Nominierungen erhielt. Der Superheld aus dem Marvel-Universum soll den Zuschauern eine Identifikation erleichtern und durch seine körperliche Beeinträchtigung realistisch wirken. Denn im alltäglichen Leben sorgt er unter dem Namen Matt Murdock als Anwalt für Gerechtigkeit in New York, obwohl er nach einem Unfall im Kindesalter sein Augenlicht verlor. Nachts dahingegen kämpft er als Daredevil gegen Kriminelle und seinen Gegner, den Mafiaboss Wilson Fisk. Seine übernatürlichen Kräfte drehen sich rund um geschärfte Sinne und vor allem seine Fähigkeit zur Ortung mittels Sonar.<sup>2</sup> Doch würde Daredevil auch in unserer realen Welt mit seiner Superkraft gegen das Böse kämpfen können? Und wie physikalisch korrekt ist seine Fähigkeit in der Serie dargestellt? Dazu wird im Folgenden die Sonartechnik anhand der Echoortung der Fledermaus als natürliches Vorbild erläutert und auf das Klicksonar bei Sehbehinderten eingegangen. Letztendlich wird die Umsetzung Daredevils Gabe der Sonarortung in der Netflix-Serie anhand von einzelnen Szenenauszügen analysiert.

---

<sup>1</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/DC\\_Comics#Ver%C3%B6ffentlichungen](https://de.wikipedia.org/wiki/DC_Comics#Ver%C3%B6ffentlichungen), aufgerufen am 20.08.2020

<sup>2</sup> <https://www.netflix.com/title/80018294>, aufgerufen am 07.11.2020

## 2 Blind wie eine Fledermaus – Daredevil und die Ortung mittels Sonar

### 2.1 Erläuterung der Sonartechnik

Die Sonartechnik beschreibt ein „Verfahren zur Ortung von Gegenständen im Raum und unter Wasser mit Hilfe ausgesandter Schallimpulse“. Dabei steht „Sonar“ als Akronym aus dem Englischen für „sound navigation and ranging“, was übersetzt Schall-Navigation und Entfernungsbestimmung bedeutet.<sup>3</sup> In erster Linie wird bei dieser Technik die Eigenschaft der Reflexion von Schallwellen ausgenutzt. Hierbei ist in ein aktives und ein passives Sonar zu unterscheiden. Ein aktives Sonar entspricht der Aussendung eines akustischen Signals durch den Ausführenden selbst. Stößt das Signal dann auf ein Objekt, wird aus der Zeit, die die Schallwelle zurück zum Aussender benötigt, die Distanz zum Objekt berechnet. Bei dem passiven Sonar handelt es sich lediglich um die Aufnahme der Signale aus der Umgebung und der damit verbundenen Abschätzung oder Berechnung der Entfernung. Der Mensch setzt heutzutage vor allem in der Schifffahrt Sonargeräte oder Echolote zur Navigation auf See ein, obwohl diese technischen Mittel ursprünglich zu militärischen Zwecken entwickelt wurden. Dabei werden Schallimpulse, meist Ultraschall, durch einen Sender am Schiff abgegeben, deren Schallwellen sich im Medium Wasser zielgerichtet und verlustarmer, als in der Luft, verbreiten können. Sollte eine dieser Schallwellen auf ein gegnerisches Boot treffen, wird diese reflektiert und von einem Empfänger erneut aufgenommen. Durch Computer und Sensoren an Bord kann letztlich die Entfernung zum gewünschten Objekt berechnet werden oder auch die Wassertiefe. Dabei ist zu beachten, dass die Schallgeschwindigkeit je nach Temperatur oder gar Salzgehalt des Wassers variiert. Auch die Richtung, in der das Objekt liegt, kann mit Hilfe des Reflexionsgesetz bestimmt werden, nachdem Einfallswinkel und Reflexionswinkel gleich groß sind.<sup>4</sup> Dagegen wird das passive Sonar eingesetzt, um beispielsweise U-Boote zu lokalisieren, ohne dabei die eigene Position preiszugeben. Doch mit Hilfe von modernsten Computertechniken können heute Sonar- und Radargeräte auch beim Fischfang als unterstützendes Material eingesetzt werden. Mit so genannten „Fischfindern“ ist selbst die Bestimmung der Art der Fischschwärme möglich.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> <https://www.duden.de/rechtschreibung/Sonar>, aufgerufen am 28.08.2020

<sup>4</sup> <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/echo-und-echolot#>, aufgerufen am 27.09.2020

<sup>5</sup> <https://segelreporter.com/panorama/sonar-das-vergessene-navigationshilfsmittel/>, aufgerufen am 27.09.2020

## 2.2 Echoortung in der Biologie anhand der Fledermaus

Das Vorbild für diese heute vom Menschen angewandte Sonartechnik, bot wie allzu häufig die Natur. Ob Delphine im Wasser, Tenreks (Säugetier der Gruppe der Igeltenreks) an Land oder Fledermäuse in der Luft: Alle diese Tiere Orientieren sich mit Hilfe des gleichen Prinzips - der Echoortung. Das so genannte „Biosonar“, das den Einsatz des aktiven Sonars bei Tieren beschreibt, dient zur einfacheren Orientierung im Raum und ist besonders bei Fledermäusen (lat. Microchiroptera) auffällig ausgeprägt. Denn die nachtaktiven Raubtiere können sich so ohne die Abhängigkeit von Licht zu rechtfinden. Dazu senden sie Ultraschallrufe aus, die von Objekten, wie beispielsweise ihrer potenziellen Beute, reflektiert werden und nehmen es mit ihren Hörsinnorganen erneut auf. Anschließend werden die Informationen im Gehirn zu einem Bild zusammengesetzt, das den Flugtieren eine dreidimensionale Sicht ihrer Umgebung ermöglicht. Durch die hohe Frequenz der Ultraschallwellen, die für den Menschen nicht wahrnehmbar sind, wird die Reflexion selbst von kleinsten Lebewesen, wie Mücken, ermöglicht.<sup>6</sup>

### 2.2.1 Anatomischer Aufbau

Damit dieses aktive Orientierungssystem funktioniert, hat sich bei den Fledermäusen ein besonders leistungsfähiger Muskel am Kehlkopf herausgebildet, der bei der Erzeugung des Ultraschallrufes maßgeblich beteiligt ist.

Denn wie auf Abbildung 1.1 zu erkennen ist, befindet sich der Kehlkopf, oder so genannte Larynx in der Luftröhre des Tieres zwischen Lunge und Maulhöhle. Er agiert als

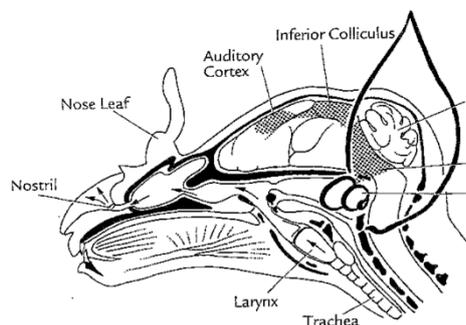


Abbildung 1.1

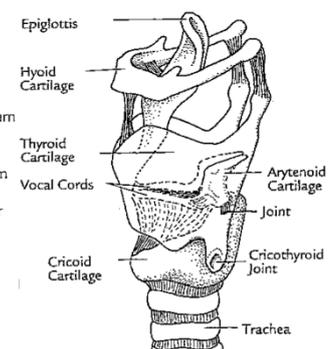


Abbildung 1.2

Schallerzeuger. Aus der Lunge strömende Luft bringt die Stimmbänder (vgl. Abbildung 1.2) zum Schwingen, womit es zu zeitlich periodischen Änderungen des Drucks der Luft kommt, also der Ausbreitung von Schallwellen.<sup>7</sup> Diese variieren ihre Tonhöhe je nach der Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, also der Frequenz. Mit Hilfe des Muskels am Kehlkopf, der bis zu 20-mal zügiger als der schnellste Muskel am

<sup>6</sup> [https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Echoortung\\_\(Tiere\)](https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Echoortung_(Tiere)), aufgerufen am 19.08.2020

<sup>7</sup> Neuweiler, G., The Biology of Bats, Oxford University Press 2000

menschlichen Auge ist, können die Fledermäuse kurze Schallwellen im Bereich der Ultraschallfrequenzen ausstoßen. Nähert sich das Tier seiner Beute, verkürzt es die Abstände ihrer periodischen Rufe, um eine bestmögliche Auflösung zu erlangen.<sup>8</sup> Mit Frequenzen von 15 kHz bis 150 kHz sind sie damit für den Menschen, dessen Hörbereich zwischen 16 Hz und 20 000 Hz liegt, nur teilweise wahrnehmbar. Gleichzeitig bedeuten die hohe Schwingungszahl pro Sekunde und damit verbundene kurze Wellenlänge eine bessere Auflösung des Bildes, da kürzere Wellen kleinere Objekte und feinere Objektstrukturen auffassen können. Nach der Verstärkung des Schalls in den Resonanzräumen des Mund- und Nasenraumes, werden die Ultraschallrufe durch eine Maul- oder gar Nasenöffnung freigelassen.

Um nun die reflektierten Ultraschallwellen erneut aufzunehmen, benötigen die Fledertiere ein ultraschallsensitives Gehör. Die Dreizack-nasige Fledermaus, *Cloetis percivali*, beispielsweise kann eine Frequenz von 213 kHz noch hören. Dabei ist der dreiteilige Aufbau des Mittelohrs und die aktive Schallverarbeitung durch äußere Haarzellen bei Säugetieren evolutionär ein Vorteil. Bei manchen Fledermausarten fallen besonders die großen Ohrmuscheln auf, die für ein feineres Gehör sorgen. Auch der Tragus, der auf Abbildung 2 zu sehen und anders als beim Menschen frei beweglich ist, hilft bei der Zuordnung der Richtung, aus der die Geräusche kommen.<sup>9</sup> Damit können die aufgenommenen Signale des Tieres in neuronalen Vorgängen hinsichtlich der Echoverzögerung, die vom Ausstoß des Lautes bis hin zur Wiederaufnahme der Schallwellen erfolgt und Aufschluss über die Entfernung zur Beute gibt, analysiert werden. Außerdem verrät die Echolautstärke die Größe des Objektes. Sogar Frequenz- und Amplitudenmodulationen oder Veränderungen der Frequenzstrukturen des Echos geben den Fledermäusen Aufschluss über die Bewegung der Beutetiere oder bestimmte Oberflächenstrukturen der Objekte. Somit kann sich die Fledermaus auch während ihrer Nachtaktivität im Dunkeln ein Bild ihrer Umgebung machen.<sup>10</sup>

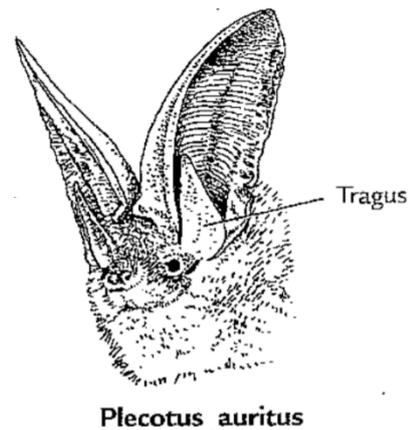


Abbildung 2

<sup>8</sup> <https://www.spektrum.de/news/fledermaeuse-orten-dank-superschneller-muskeln/1124502>, aufgerufen am 03.11.2020

<sup>9</sup> <http://www.fledermauskunde.de/fbiologi.htm>, aufgerufen am 03.11.2020

<sup>10</sup> [https://www.goethe-university-frankfurt.de/45915495/tphauptstudium\\_echoortung\\_fled.pdf](https://www.goethe-university-frankfurt.de/45915495/tphauptstudium_echoortung_fled.pdf), aufgerufen am 03.11.2020

## 2.2.2 Physikalische Betrachtung

Um das Verhalten der Fledermäuse nachvollziehen zu können, betrachten wir zunächst die Eigenschaften von Schallwellen. Diese werden durch mechanische Schwingungen ausgelöst und breiten sich als Longitudinalwellen (Längswellen) aus. Das heißt, die Ausbreitungsrichtung stimmt mit der Schwingungsrichtung der Teilchen überein.

Hierbei beschreibt die Amplitude  $A$ , wie in Abbildung 3 angedeutet ist, die maximale Auslenkung der

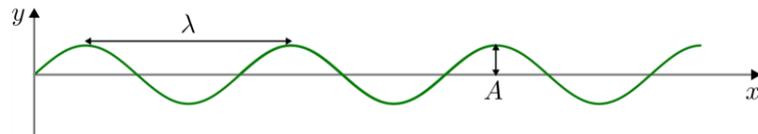


Abbildung 3

Schwingungen der Welle. Dieser Wert gibt Auskunft über die Intensität des Ultraschallrufes der Fledermäuse. Zudem beschreibt die Wellenlänge  $\lambda$  den kleinsten Abstand zweier Punkte einer gleichen Phase. Diese lässt sich berechnen aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  mit der sich eine bestimmte Phase der Welle fortbewegt und der Frequenz  $f$ , die die Anzahl der vollen Schwingungen pro Zeiteinheit angibt. Es gilt:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Zusätzlich lässt sich die Periodendauer  $T$  ermitteln, unter der man die benötigte Zeit für eine volle Schwingung, also bis zu ihrem selben Schwingungszustand zurück, versteht.<sup>11</sup> Da sich die Frequenz als den Kehrwert der Periodendauer umschreiben lässt (also:  $f = \frac{1}{T}$ ), gilt:

$$\lambda = c \cdot T$$

Um die vertikale Richtungsabweichung des Beutetiers zur Fledermausposition ermitteln zu können, macht die Fledermaus von dem physikalischen Phänomen der Interferenz der Wellen Gebrauch. Durch die Überlagerung der Schallwellen gleicher Wellenlänge am Ohr des nächtlichen Jägers, kommt es zu einer Verstärkung dieser. Bei einer genauen Verschiebung gegeneinander allerdings, kommt es zum Auslöschung der beiden Wellen. Anhand dessen kann das Flugtier die Höhe bestimmen, aus der die stärksten Frequenzen über oder unterhalb ihrer Laute reflektiert werden. Schließlich helfen ihr neuronale Berechnungen bei der Bestimmung der Höhe, auf der sich die

---

<sup>11</sup> <http://www.abi-physik.de/buch/wellen/grundlegende-eigenschaften/>, aufgerufen am 05.11.2020

Beute zu ihrer eigenen Position befindet. Doch nicht nur die vertikale Lage des Opfers ist für die Fledermaus von Bedeutung, auch die Entfernung zum Objekt spielt eine wichtige Rolle. Da die Ausbreitung der Schallwelle eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung ist, gilt:

$$d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t$$

Dabei beschreibt  $2d$  den vom Schall zurückgelegten Weg, womit sich für  $d$  die Distanz zur Beute ergibt. Unter der Echoverzögerung  $t$  versteht man die Zeit, die der von der Fledermaus selbst erzeugte Ultraschall per Echo zurück zu ihren Ohren braucht. Um die Schallgeschwindigkeit  $c$  bestimmen zu können, benötigt man folgenden physikalischen Zusammenhang:

$$c = \frac{1}{\sqrt{k \cdot \rho}}$$

$\rho$  ist die Dichte des akustischen Mediums. Bei einer Lufttemperatur von  $20^\circ\text{C}$  und einem Normaldruck von  $p_n = 1013 \text{ hPa}$ , ergibt sich dabei  $\rho = 1,2041 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .<sup>12</sup>

$k$  ist die Kompressibilität des akustischen Mediums und lässt sich berechnen aus:

$$k = \frac{5}{7} \cdot \frac{1}{p_n}$$

Damit ergibt sich für die Schallgeschwindigkeit:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{5}{7} \cdot \frac{1}{101300 \text{ Pa}}\right) \cdot 1,2041 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$c = 343,77 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Da Fledermäuse Laufzeiten der Echoverzögerung von bis zu 0,1 Millisekunden erkennen können<sup>13</sup>, ergibt sich für die minimale Distanz zum Objekt, das sie mit ihrem Echo wahrnehmen kann:

$$d_{\min} = \frac{1}{2} \cdot 343,77 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,001 \text{ s}$$

$$d_{\min} = 0,172 \text{ m} = 17,2 \text{ cm}$$

<sup>12</sup><https://de.wikipedia.org/wiki/Luftdichte#:~:text=Auf%20Meeresspiegelh%C3%B6he%20ist%20die%20Luft,ist%20also%20im%20Verh%C3%A4ltnis%20dichter>, aufgerufen am 05.11.2020

<sup>13</sup><https://de.wikipedia.org/wiki/Flederm%C3%A4use>, aufgerufen am 06.11.2020

Andersrum gilt für die maximale Entfernung, in der die Fledermaus das Echo noch wahrnehmen kann, ein Wert von 3-5m, je nach der individuellen Lautstärke des Ultraschalls und der Größe des Objektes.<sup>14</sup> Somit lässt sich für die maximale wahrnehmbare verstrichene Zeit des Echos folgendes berechnen:

$$t = \frac{2 \cdot d}{c}$$

$$t_{max} = \frac{2 \cdot 5m}{343,77 \frac{m}{s}}$$

$$t_{max} = 0,029s$$

Demnach können Fledermäuse im Allgemeinen betrachtet eine Echoverzögerung von 0,001s bis 0,029s erkennen, was den Entfernungen von 17,2cm bis 5m entspricht. Des Weiteren stellte sich heraus, dass Hufeisennasenfledermäuse (lat. *Rhinolophus spec.*) mit einer Frequenz von  $f = 80kHz$  und der entsprechenden Wellenlänge

$$\lambda = \frac{343,77 \frac{m}{s}}{80000Hz} = 0,0043m = 4,3 \text{ mm}$$

„flatternde Objekte orten“ kann, die zum Beispiel „nur knapp 2mm groß sind“.<sup>15</sup>

### 2.3 Humane Echoortung: Das Klicksonar

Nicht nur für technische Forschungen bedient sich der Mensch am Vorbild der Echoortung im Tierreich, auch in der humanen Forschung kam es bereits zu Nachahmungen dieses Prinzips. So wurde das so genannte „Klicksonar“, auch als „FlashSonar“ bekannt, in den 1990er Jahren in den Vereinigten Staaten Amerikas durch Daniel Kish bekannt. Aufgrund einer Krebserkrankung verlor er bereits mit 13 Monaten sein Augenlicht und brachte sich seitdem eigenständig die Orientierung mit einem durch die Zunge erzeugten Schnalzlaut und dem Echo dieses Geräusches bei. Ähnlich wie bei der Fledermaus ermöglicht dies den Sehbehinderten eine bildhafte Vorstellung ihrer

<sup>14</sup>[https://www.dgzfp.de/Portals/24/IZ/Langfassung%20Saarland%202010.pdf?ver=KaigBPo7Uo\\_haPAPvuIChQ%3d%3d](https://www.dgzfp.de/Portals/24/IZ/Langfassung%20Saarland%202010.pdf?ver=KaigBPo7Uo_haPAPvuIChQ%3d%3d), aufgerufen am 05.11.2020

<sup>15</sup>[https://www.audimax.de/fileadmin/hausarbeiten/naturwissenschaft/Hausarbeit\\_Naturwissenschaft\\_Das\\_Ortungssystem\\_der\\_Fledermaus\\_ahx1211.pdf](https://www.audimax.de/fileadmin/hausarbeiten/naturwissenschaft/Hausarbeit_Naturwissenschaft_Das_Ortungssystem_der_Fledermaus_ahx1211.pdf), aufgerufen am 05.11.2020

Umgebung. Auch Sehende können diese Methode erlernen und als eine Erweiterung zu ihrer optischen Wahrnehmung nutzen.<sup>16</sup>

### 2.3.1 Anatomischer Aufbau

Dazu betrachten wir zunächst einmal die Entstehung des Sonars und das Verarbeiten des Echos beim Menschen.

In Abbildung 4 ist der Mund eines Menschen abgebildet mit allen dazugehörigen Weichteilen im Kopf. Ähnlich wie bei der Fledermaus ist er notwendig für die Stimmbildung. Jedoch wird der Laut beim Klicksonar nicht mit dem Kehlkopf erzeugt, sondern durch ein Schnalzen mit der Zunge am harten Gaumen, welches „flashes of sound“ erzeugt.<sup>17</sup> Durch die Mundhöhle als Resonanzraum wird dieses Geräusch verstärkt und die Schallwellen können sich in der gesamten Umgebung ausbreiten.

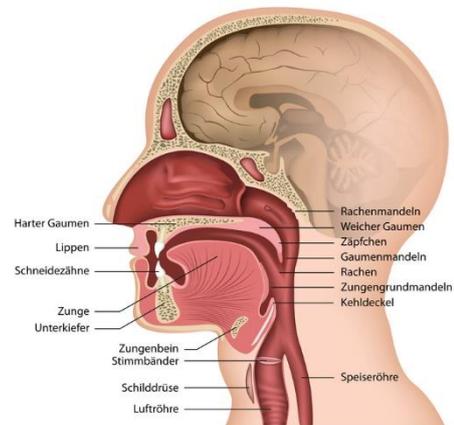


Abbildung 4

Treffen sie nun auf ein Objekt, werden diese reflektiert und als Echo durch den Hörsinn erneut aufgenommen.

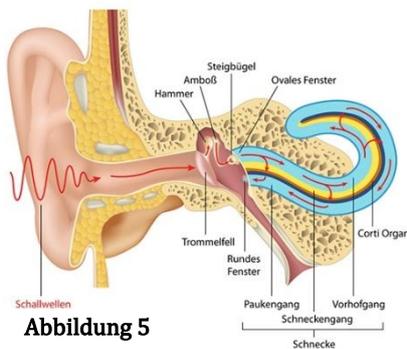


Abbildung 5

Hierfür ist das Ohr zuständig, das in der Abbildung 5 dargestellt ist. Es kann in drei Bereiche eingeteilt werden. Dabei setzt sich das äußere Ohr aus der Ohrmuschel und dem äußeren Gehörgang zusammen. Hier werden Schallwellen aufgenommen und an das Innenohr weitergeleitet. Auch das Mittelohr dient als so genannter Schalleitungsapparat und unterliegt derselben Funktion. Es umfasst das Trommelfell und die Gehörknöchelchen Hammer, Amboss, sowie Steigbügel.<sup>18</sup> Somit ist die Gehörschnecke dem Innenohr zugeordnet, das mit dem Corti-Organ die akustischen mechanischen Schwingungen in Nervensignale umwandelt, die an das Gehirn weitergeleitet werden.<sup>19</sup> Nach einer Studie der University of Western Ontario in Canada an einem „Early Blind“, der bereits im zweiten Lebensjahr erblindete und einem „Late Blind“, der mit 14 Jahren

<sup>16</sup> [https://www.ted.com/speakers/daniel\\_kish](https://www.ted.com/speakers/daniel_kish), aufgerufen am 27.09.2020

<sup>17</sup> [https://www.ted.com/talks/daniel\\_kish\\_how\\_i\\_use\\_sonar\\_to\\_navigate\\_the\\_world#t-507831](https://www.ted.com/talks/daniel_kish_how_i_use_sonar_to_navigate_the_world#t-507831), aufgerufen am 27.09.2020

<sup>18</sup> <https://medlexi.de/Ohr>, aufgerufen am 06.11.2020

<sup>19</sup> <https://flexikon.doccheck.com/de/Corti-Organ>, aufgerufen am 06.11.2020

sein Augenlicht verlor, werden zur Verarbeitung der humanen Echoortung Teilbereiche des Gehirns stimuliert, die für die optische Wahrnehmung zuständig sind. Dabei fiel auf: Beim Abspielen einer Aufnahme von äußerlichen Aktivitäten und der Einordnung, ob Echos von verschiedenen Objekten, wie beispielsweise Bäumen, darin enthalten waren oder nicht, trat keine Aktivität, gemessen am BOLD, im auditorischen Kortex auf. Jedoch fand eine Stimulation des visuellen Kortex statt, der für die Verarbeitung der Nervensignale der Augen zuständig ist (vgl. Anhang 2, S. 18). Damit lässt sich erschließen, dass bei Daniel Kish und allen weiteren Nutzern des FlashSonar ein Sinneseindruck entsteht, der dem eines Bildes mehr ähnelt als dem eines Geräusches.<sup>20</sup>

### 2.3.2 Vergleich mit der tierischen Echoortung

Trotz der Möglichkeit zu einer mehr selbstständigen Orientierung im Alltag für Sehbehinderte, ist diese Methode des Klicksonars nicht weit verbreitet. Zum einen, weil es ein langes Training erfordert, bis die Entfernungen und die Lage der Objekte zur eigenen Position oder die verschiedenen Oberflächenstrukturen mit Hilfe derer man einen Baum von einer Straßenlaterne unterscheiden kann, erfolgreich abgeschätzt werden können.<sup>21</sup> Zum anderen aber auch, da die humane Echoortung auch mit biologisch bedingten Einschränkungen verbunden ist. So können Fledermäuse Modulationen an ihren Frequenzen und der Länge der Ortungsrufe durchführen, um beispielsweise bei einer Annäherung an ihr Beuteobjekt mit einem Ultraschallruf höherer Frequenz ein detaillierteres Bild zu erhalten. Bei längeren Distanzen dahingegen stoßen sie Laute mit geringeren Frequenzen aus, da diese somit eine größere Reichweite haben.<sup>15</sup> Allerdings besitzen Menschen keine Organe, die diese Technik umsetzen könnten. Mit dem Zungenklick kann lediglich ein einfacher Ton erzeugt werden, nicht aber eine komplexere Frequenzstruktur. Noch dazu funktioniert die Echoortung der Fledermaus im Ultraschallbereich, der mit über 20kHz außerhalb der akustischen Wahrnehmung des Menschen liegt. Um Frequenzen dieser Höhe produzieren zu können, bräuchte der Mensch beispielsweise einen so leistungsfähigen Muskel am Kehlkopf, wie ihn die Fledermäuse besitzen. Auch das Hören von Ultraschallwellen ist den Fledermäusen durch einen komplizierten und feinen Aufbau der Hörorgane gewährleistet, der sich vom Menschen unter anderem im beweglichen Tragus unterscheidet.<sup>9</sup>

---

<sup>20</sup> <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0020162>, aufgerufen am 19.08.2020

<sup>21</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=Q0EwZFCnNO8>, aufgerufen am 27.09.2020

Doch durch dieses vorenthaltene Privileg, können nebenstehende Geräusche, wie Lärm in der Stadt, das eigene Echo schwer auffindbar machen oder gar übertönen. Doch nicht nur die Umwelt ist im Ultraschallbereich leiser, auch bietet der Ultraschall eine bessere Reflexionseigenschaft und einen geringeren Nachhall, was für die Auflösung des Bildes vorteilhaft ist. Damit ist eine humane Echoortung zwar möglich, aber mit der Präzision eines Biosonars der Fledermaus kann es nicht mithalten.<sup>22</sup>

## 2.4 Daredevil Szenenanalyse

Die Verkörperung eines Blinden mit humaner Echoortung in Superheldenform stellt Daredevil dar. Bereits im Kindesalter verliert er nach einem Unfall mit radioaktiven Chemikalien seine Sehkraft und besitzt seitdem eine übernatürliche Kraft der Orientierung mittels aktiven Sonars.<sup>2</sup> Doch ist diese Ausprägung der Technik physikalisch bei einem Menschen so umsetzbar, wie sie in der Netflix-Serie dargestellt ist? Dazu nehmen wir an, dass der bürgerliche Matt Murdock das Klicksonar anwendet und ein Schnalzen mit seiner Zunge erzeugt, was in den Szenen durch die Produktion außer Acht gelassen wurde.

### 2.4.1 Szene 1

In der Szene 1 (Staffel 1, Folge 3, 14:30 – 15:30 min) wird das Einsetzen der Echoortung mit einer verschwommenen Sicht, der Unterdrückung der nebensächlichen Straßenverkehrsgeräusche und der Verzerrung der Stimme angedeutet. Nachdem James Wesley, der Assistent des Bösewichtes Wilson Fisk, Foggy Nelson und Matt Murdock in ihrer Kanzlei einen Besuch abstattet und ein Angebot liefert, wird der Rechtsanwalt stutzig und verfolgt den Geschäftsmann auf die Straße. Hierbei bekommt er mit, wie er in ein Auto steigt und berichtet er habe „alles erledigt“.<sup>2</sup> Sein Sonar hilft ihm bei der Beobachtung der Geschehnisse.

Dabei hält er stets eine angemessene Entfernung von schätzungsweise vier Reihenhäusern zum Verdächtigen ein, um unauffällig zu bleiben (vgl. Abbildung 6). Aber kann Daredevil diese



Abbildung 6

<sup>22</sup> <https://klartext-preis.de/meldungen/wenn-blinde-menschen-sehen-lernen/>, aufgerufen am 19.08.2020

Distanz mit seiner humanen Echoortung noch erfassen? Dazu nehmen wir an ein jedes dieser Häuser ist 6m breit, für den Abstand zwischen Weasley und Murdock ergibt sich dann:

$$d_1 = 4 \cdot 6m = 24m$$

Damit gilt für die Echoverzögerung:

$$t_1 = \frac{2 \cdot d_1}{c} = \frac{2 \cdot 24m}{343,77 \frac{m}{s}} = 0,139s$$

Suchen wir nun zum optimalen menschengenerierten Klicksonar mit einer Frequenz von 3-6 kHz den Mittelwert, ergibt sich für  $f_D = 4,5 \text{ kHz}$  (vgl. Anhang 3, S.19). Betrachten wir nun

$$d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t \text{ mit } c = \lambda \cdot f$$

Es gilt:

$$d = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot f \cdot t$$

$$\Rightarrow t = \frac{2 \cdot d}{\lambda \cdot f}$$

Aufgrund des daraus entstehenden Proportionalzusammenhanges  $t \sim \frac{1}{f}$  und einer maximalen Echoverzögerung der Fledermaus von  $t_{max_F} = 0,029s$ , nehmen wir an:

$$t \hat{=} \frac{1}{f}$$

$$\Rightarrow 0,029s \hat{=} \frac{1}{85kHz}$$

$$0,029s \cdot 18 \hat{=} \frac{1}{85kHz} \cdot 18$$

$$0,522s \hat{=} \frac{1}{4,5kHz}$$

$$t_{max_D} = 0,522s$$

Da  $t_1 < t_{max_D}$  kann Matt Murdock also noch das Einsteigen Weasleys in ein Auto mit seiner Echoortung „sehen“.

Doch wie sieht es mit der Armbanduhr aus? Anhand des Tickens Weasleys Schmuckstückes, kann der Protagonist seinen Gegner von den anderen Passanten unterscheiden. Aus der Frequenz Daredevils Klicklauts, ergibt sich auch dessen Wellenlänge:

$$\lambda_D = \frac{c}{f_D} = \frac{343,77 \frac{m}{s}}{4500 \text{ Hz}} = 0,076m = 76mm$$

Nach der Annahme, dass bei einem Ultraschallruf der Fledermaus mit einer Wellenlänge von  $\lambda_F = 4\text{mm}$  minimal ein Objekt der Größe  $2\text{mm}$  wahrgenommen werden kann, gilt für die Größe  $x$  des kleinsten wahrnehmbaren Objekts durch Annäherung:

$$\frac{\lambda_D}{\lambda_F} = \frac{76}{4} = 19$$
$$\Rightarrow x = 2\text{mm} \cdot 19 = 38\text{mm}$$

Da es sich bei der Uhr um eine Cartier Herren des Modells Santos-Dumont handeln könnte, lässt sich eine Gehäusegröße von  $46,6\text{mm}$  ermitteln.<sup>23</sup> Daher kann Murdock theoretisch den Schmuck am Handgelenk erkennen, jedoch nicht das Ziffernblatt geschweige denn den Zeiger und somit das Ticken.

#### 2.4.2 Szene 2

Als Superheld besteht Daredevils Aufgabe selbstverständlich darin sich im Kampf gegen das Böse ein Duell mit seinen Gegnern zu liefern. So auch in Szene 2 (Staffel 1, Folge 3, 45:35 – 47:20min), in der er sich einer körperlichen Auseinandersetzung mit seinem Klienten liefert, um den Namen des Unruhestifters in Hell's Kitchen zu erfahren.<sup>2</sup> Dies fordert eine schnelle Reaktionsgeschwindigkeit Daredevils. Allerdings ergibt sich aus dem oben bereits erwähnten Zusammenhang für die minimale Echoverzögerung Daredevils:

$$t_{\text{min}_D} = 0,001\text{s} \cdot 18 = 0,018\text{s}$$

Ein Schlag eines Boxers benötigt dabei nur  $0,01\text{s}$  bis er seinen Gegner trifft.<sup>24</sup> Selbst, wenn Daredevil einem unerfahrenen Kämpfer gegenübersteht, werden ihm die wenigen Millisekunden, die er noch dazu zur neuronalen Verarbeitung und der Ausweichbewegung verbraucht zum Verhängnis. Mit seiner Echoortung erfolgt seine Reaktion zu langsam. Er würde also nicht den Schlägen seines Gegners ausweichen können und das Duell verlieren, anders als es in der Sequenz dargestellt ist.

Auch den Abstand zum Zaunhaken wird er nicht per Echoortung ermitteln können. Denn die Fledermaus kann mit ihrer Ultraschallfrequenz höchstens  $17,2\text{cm}$  vor sich

---

<sup>23</sup> [https://www.cartier.de/de/kollektionen/uhren/herrenuhren/santos-de-cartier/santos-dumont/wssa0032-santos-dumont.html?gclid=Cj0KCQiAhZT9BRDmARIsAN2E-J1frwqgOa0FvHZZFy77luYbhDh0P2t-sCyG5LVRE2f0uesJAp0cNEaAoQsEALw\\_wcB&gclidsrc=aw.ds](https://www.cartier.de/de/kollektionen/uhren/herrenuhren/santos-de-cartier/santos-dumont/wssa0032-santos-dumont.html?gclid=Cj0KCQiAhZT9BRDmARIsAN2E-J1frwqgOa0FvHZZFy77luYbhDh0P2t-sCyG5LVRE2f0uesJAp0cNEaAoQsEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds), aufgerufen am 06.11.2020

<sup>24</sup> <http://budoten.blog/wie-schnell-kann-ein-boxhieb-sein/>, aufgerufen am 06.11.2020

in Flugbewegung ermitteln. Denn nehmen wir für die Frequenz der Fledermaus den Mittelwert ergibt sich der Zusammenhang:

$$\frac{f_F}{f_D} = \frac{85\text{kHz}}{4,5\text{kHz}} = 18$$

Daredevil kann somit mit seinem Klicksonar nur Ein-Neunzehntel der Frequenz des Fledertiers erreichen.



Abbildung 7

Somit wird er die Distanz von circa 14cm nicht ermitteln können (vgl. Abbildung 7).

Denn für die minimale Distanz, die der Protagonist ermitteln kann, läge nach dem oben genannten Zusammenhang bei:

$$d_{min_D} = d_{min_F} \cdot 18$$

$$d_{min_D} = 17,2\text{cm} \cdot 18 = 309,6\text{cm} = 3\text{m}$$

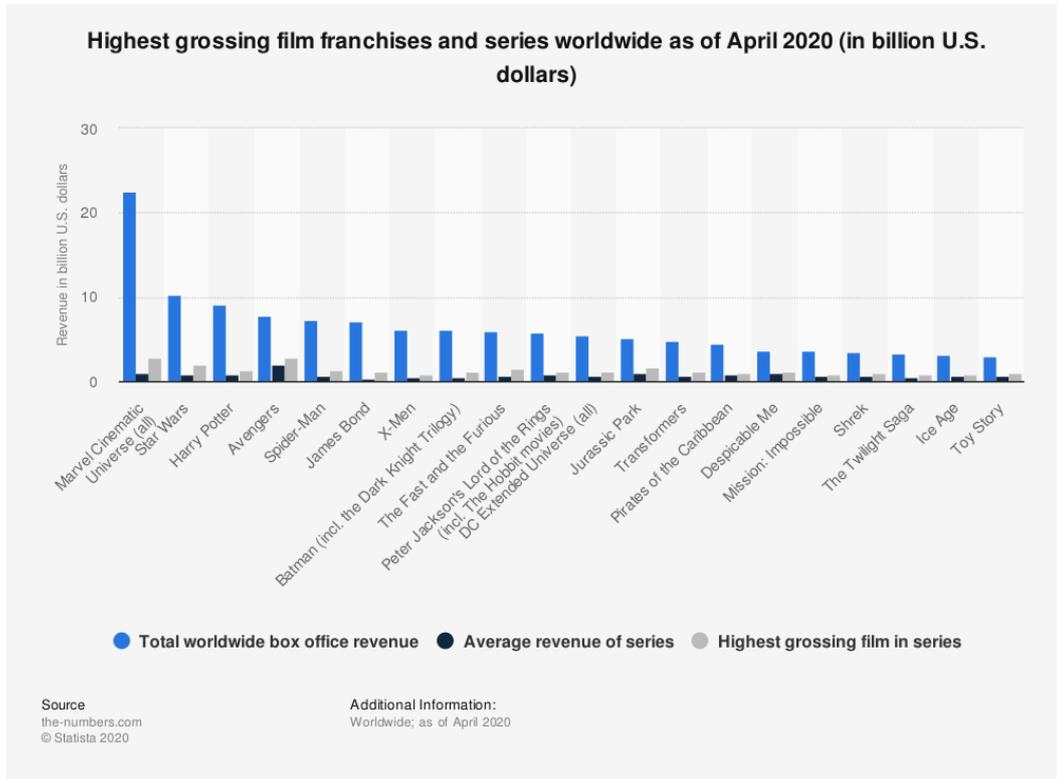
Höchstens durch den Widerstand der Atemluft könnte Daredevil erahnen, dass ein Objekt vor ihm liegt. Damit ergibt die Andeutung des Nutzens der Echoortung in dieser Kampfszene physikalisch betrachtet keinen Sinn.

### 3 Daredevil: Erfolgreiche Darstellung eines realistischen Superhelden?

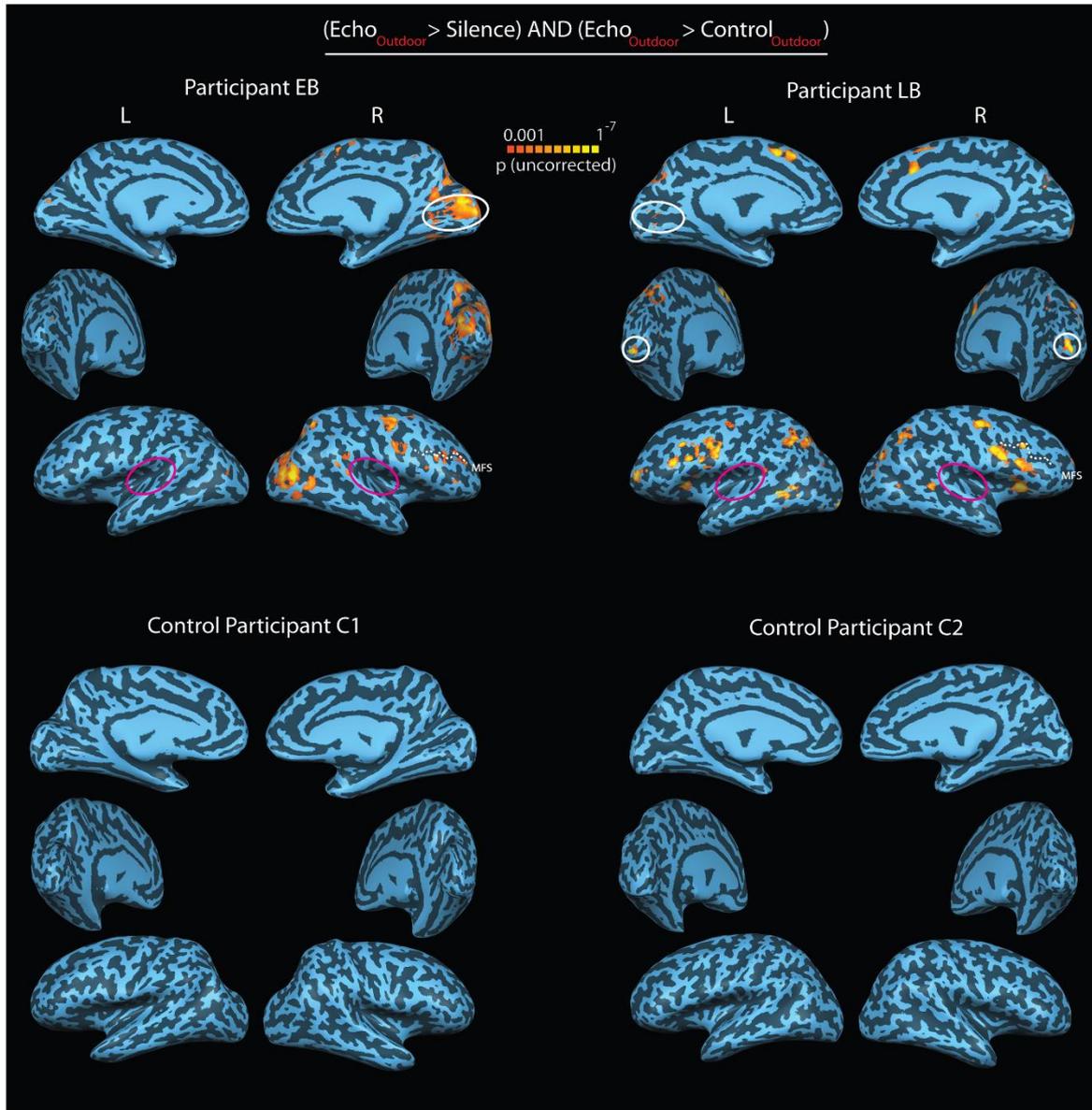
Demnach ist die Echoortung Daredevils in der Serie teils erfolgreich im physikalischen Sinnzusammenhang dargestellt. Mit seiner humanen Echoortung kann der Superheld sich im alltäglichen Leben ohne Schwierigkeiten orientieren, was ihm Selbstständigkeit trotz seiner Sehbehinderung bietet. So besitzt er eine eigene Wohnung und versorgt sich selbstständig oder kann seinem Beruf als Rechtsanwalt nachgehen und Gerichtsverfahren betreuen. Doch selbstverständlich wird diese besondere Eigenschaft überspitzt dargestellt, um den Spaßfaktor des Publikums aufrecht zu erhalten und dem Superheldencharakter gerecht zu werden. Denn die Entwicklung von Superkräften nach dem Kontakt mit radioaktiven Chemikalien wäre schon unrealistisch. Trotzdem wirkt er für viele Marvel Fans realitätsnäher als manch anderer Superheld. Nicht zuletzt, weil er trotz seines Handicaps seine Mitmenschen aus Gefahrensituationen rettet. Dabei hilft ihm nicht nur sein aktives Sonar, sondern auch die besondere Ausprägung seiner anderen Sinnesorgane, was nicht weit entfernt ist von der Wirklichkeit. Denn dass Menschen durch den Verlust einer ihrer Sinne ein stärkeres Gefühl für beispielsweise den Hörsinn bei Blinden entwickeln, ist nichts Neues in der Forschung. Doch dass sie dadurch die Fähigkeit entwickeln den Herzschlag des Gegenübers als eine Art Lügendetektor zu erhören, so wie Daredevil es macht, ist dann eher unwahrscheinlich. Stattdessen ist aber der auditorische Kortex in ihrem Gehirn sensibilisiert, sodass er aufmerksamer auf kleinste Signale wird. Sogar andere Teile des Gehirns können die Verarbeitung von Nervensignalen aus anderen Sinnorganen übernehmen und damit ein breiteres Spektrum an Informationen aus der Situation ermitteln. So wie der visuelle Kortex bei der Echoortung von Sehbehinderten eine deutliche Aktivität andeutet.<sup>20</sup> So weit weg von der Realität ist Daredevil mit seiner Echoortung demnach nicht.

## 4 Anhang

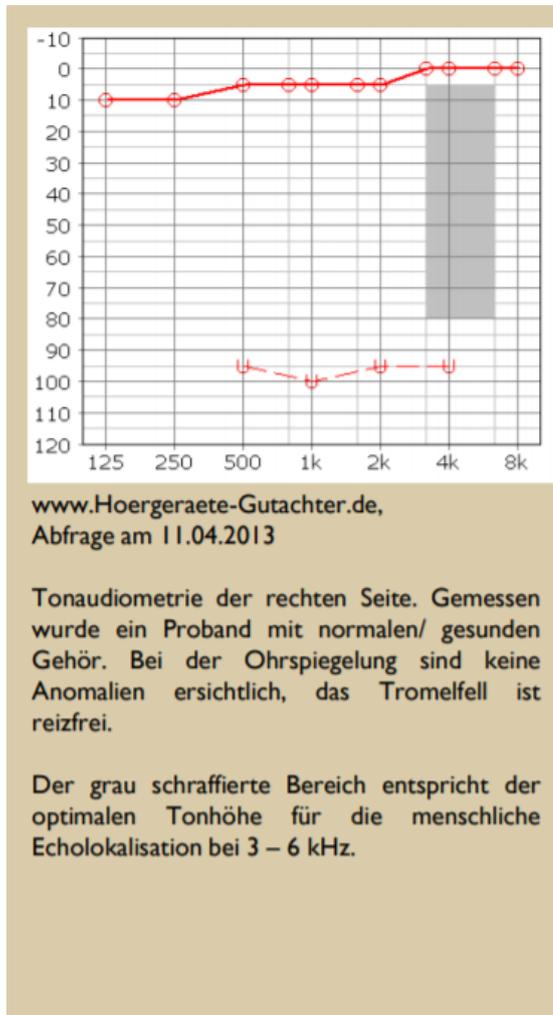
- Anhang 1 zu 1 Erfolgsgeschichte des Superheldenphänomens, S.3  
<https://www.statista.com/statistics/317408/highest-grossing-film-franchises-series/>, Download vom 07.11.2020



- Anhang 2 zu 2.3.1 Anatomischer Aufbau, S. 11,  
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0020162>,  
Download vom 06.11.2020



- Anhang 3 zu 2.4.1 Szene 1, S.13,  
<http://gutachter-hoerakustik.de/images/sampleddata/klicksonar.pdf>,  
Download vom 06.11.2020



## 5 Abkürzungsverzeichnis

- Sonar: „sound navigation and ranging“
- BOLD: englisch „blood oxygenation level dependent“; Bezeichnung in der Magnetresonanztomografie für die Abhängigkeit des (Bild-) Signals vom Sauerstoffgehalt der roten Blutkörperchen

## 6 Literaturverzeichnis

### 6.1 Primärliteratur

*Neuweiler, Gerhard*, The Biology of Bats, Oxford University Press 2000.

### 6.2 Internetadressen

[https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Echoortung\\_\(Tiere\)](https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Echoortung_(Tiere)), DL vom 19.08.2020.

*Budoten*. [budoten.blog](http://budoten.blog). 02.03.2014.

<http://budoten.blog/wie-schnell-kann-ein-boxhieb-sein/>, DL vom 06.11.2020

*Cartier*. [cartier.de](https://www.cartier.de).

[https://www.cartier.de/de/kollektionen/uhren/herrenuhren/santos-de-cartier/santos-dumont/wssa0032-santos-dumont.html?gclid=Cj0KCQiAhZT9BRDmARIsAN2E-J1frwqgOa0FvHZZFy77IuYbhDh0P2t-sCyG5LVRE2f0uesJAp0cNEaAoQsEALw\\_wcB&gclidsrc=aw.ds](https://www.cartier.de/de/kollektionen/uhren/herrenuhren/santos-de-cartier/santos-dumont/wssa0032-santos-dumont.html?gclid=Cj0KCQiAhZT9BRDmARIsAN2E-J1frwqgOa0FvHZZFy77IuYbhDh0P2t-sCyG5LVRE2f0uesJAp0cNEaAoQsEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds), DL vom 06.11.2020

*DocCheck*. [doccheck.com](https://flexikon.doccheck.com). 11.02.2020.

<https://flexikon.doccheck.com/de/Corti-Organ>, DL vom 06.11.2020.

*Duden*. [duden.de](https://www.lernhelfer.de).

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/echo-und%20echolot#>, DL. 27.09.2020.

*Duden*. [duden.de](https://www.duden.de).

<https://www.duden.de/rechtschreibung/Sonar>, DL vom 28.08.2020.

*Gaub, Benjamin*. [klartext-preis.de](https://klartext-preis.de). 2015.

<https://klartext-preis.de/meldungen/wenn-blinde-menschen-sehen-lernen/>, DL vom 19.08.2020.

*Gerhard, Louisa*. Jugend forscht. 2010.

[https://www.dgzfp.de/Portals/24/IZ/Langfassung%20Saarland%202010.pdf?ver=KaigBPo7Uo\\_haPApvuIChQ%3d%3d](https://www.dgzfp.de/Portals/24/IZ/Langfassung%20Saarland%202010.pdf?ver=KaigBPo7Uo_haPApvuIChQ%3d%3d), DL vom 05.11.2020.

*Goethe Universität Frankfurt*.

[https://www.goethe-university-frankfurt.de/45915495/tphauptstudium\\_echoortung\\_fled.pdf](https://www.goethe-university-frankfurt.de/45915495/tphauptstudium_echoortung_fled.pdf), DL vom 03.11.2020.

*Keil, Dennis*. [abi-physik.de](http://www.abiphysik.de). 2020.

<http://www.abiphysik.de/buch/wellen/grundlegendeigenschaften/>, DL vom 03.11.2020

- Köckeritz, Kai.* [segelreporter.com](https://segelreporter.com). 10.09.2019.  
<https://segelreporter.com/panorama/sonar-das-vergessene-navigationshilfsmittel/>, DL vom 27.09.2020.
- Martin, H.-J.* [fledermauskunde.de](http://www.fledermauskunde.de). 01.07.1998.  
<http://www.fledermauskunde.de/fbiologi.htm>, DL vom 03.11.2020.
- MedLexi.* [medlexi.com](https://medlexi.com). 05.07.2019.  
<https://medlexi.de/Ohr>, DL vom 06.11.2020.
- Netflix.* [netflix.com](https://www.netflix.com).  
<https://www.netflix.com/title/80018294>, DL vom 07.11.2020.
- Seebeck, Stefan.* [audimax.de](https://www.audimax.de).  
[https://www.audimax.de/fileadmin/hausarbeiten/naturwissenschaft/Hausarbeit\\_Naturwissenschaft\\_Das\\_Ortungssystem\\_der\\_Fledermaus\\_ahx1211.pdf](https://www.audimax.de/fileadmin/hausarbeiten/naturwissenschaft/Hausarbeit_Naturwissenschaft_Das_Ortungssystem_der_Fledermaus_ahx1211.pdf), DL vom 03.11.2020.
- Spektrum.* [spektrum.de](https://www.spektrum.de).  
<https://www.spektrum.de/news/fledermaeuse-orten-dank-superschneller-muskeln/1124502>, DL vom 03.11.2020.
- TED.* [ted.com](https://www.ted.com).  
[https://www.ted.com/speakers/daniel\\_kish](https://www.ted.com/speakers/daniel_kish), DL vom 27.09.2020.
- TED.* [ted.com](https://www.ted.com).  
[https://www.ted.com/talks/daniel\\_kish\\_how\\_i\\_use\\_sonar\\_to\\_navigate\\_the\\_world#t-507831](https://www.ted.com/talks/daniel_kish_how_i_use_sonar_to_navigate_the_world#t-507831), DL vom 27.09.2020.
- Thaler, Lore.* [journals.plos.org](https://journals.plos.org). 25.05.2011.  
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0020162>, DL vom 19.08.2020.
- Wikipedia.* [wikipedia.org](https://de.wikipedia.org).  
[https://de.wikipedia.org/wiki/DC\\_Comics#Ver%C3%B6ffentlichungen](https://de.wikipedia.org/wiki/DC_Comics#Ver%C3%B6ffentlichungen), DL vom 20.08.2020.
- Wikipedia.* [wikipedia.org](https://de.wikipedia.org).  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Flederm%C3%A4use>, DL vom 06.11.2020.
- Wikipedia.* [wikipedia.org](https://de.wikipedia.org).  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Luftdichte#:~:text=Auf%20Meeresspiegelh%C3%B6he%20ist%20die%20Luft,ist%20also%20im%20Verh%C3%A4ltnis%20dichter>, DL vom 05.11.2020.
- YouTube.* [youtube.com](https://www.youtube.com). 13.08.2019.  
<https://www.youtube.com/watch?v=Q0EwZFCnNO8>, DL vom 27.09.2020.

## 7 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1.1, S. 5,  
*Neuweiler, Gerhard, The Biology of Bats, Oxford 2000.*
- Abbildung 1.2, S. 5,  
*Neuweiler, Gerhard, The Biology of Bats, Oxford 2000.*
- Abbildung 2, S. 6,  
*Neuweiler, Gerhard, The Biology of Bats, Oxford 2000.*
- Abbildung 3, S. 7,  
<https://www.grund-wissen.de/physik/mechanik/schwingungen-und-wellen/wellen.html>, DL vom 05.11.2020.
- Abbildung 4, S. 10,  
<https://medlexi.de/Mund>, DL vom 06.11.2020.
- Abbildung 5, S. 10,  
<https://www.spektrum-hoeren.de/geraue-und-gerauebeeintraechtigung/9-aufbau-des-ohres/79-der-aufbau-des-ohres>, DL vom 06.11.2020.
- Abbildung 6, S. 12,  
<https://www.netflix.com/de/title/80018294>, DL vom 06.11.2020.
- Abbildung 7, S. 15,  
<https://www.netflix.com/de/title/80018294>, DL vom 06.11.2020.

## 8 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Mir ist bekannt, dass die vorliegende Arbeit mit 0 Punkten bewertet werden kann, wenn gegen diese Grundsätze verstoßen wurde, und dass in diesem Fall eine Zulassung zum Abitur nicht möglich ist.

Pocking, den .....