

Wasserschallmessungen in der Delphinlagune des Nürnberger Tiergartens

Rudi Volz¹, André Jakob¹, Lorenzo von Fersen²

¹ *advacoustics, 13505 Berlin, E-Mail:kontakt@advacoustics.de*

² *Tiergarten Nürnberg, 90480 Nürnberg, E-Mail:lvfersen@odn.de*

Einleitung

In der Delphinlagune und im Manatihaus des Tiergartens Nürnberg wurden Wasserschallmessungen durchgeführt. Ziel war die präventive Erfassung von eventuellen Lärmbelastungen durch Pumpen und andere Aggregate sowie durch den zeitweisen Betrieb in einem an eine Unterwasserscheibe angrenzenden Veranstaltungsraum auf die Tiere und eine Bewertung der gegenwärtigen Situation, um gegebenenfalls weitere Schlussfolgerungen für den Betrieb daraus ziehen zu können.

Messdurchführung

Bei der Wintermessung, deren Ergebnisse hier dargestellt werden, wurden vier Messpunkte im Bereich der Delphinlagune, vermessen. Die Messpunkte sind in gelb in Abbildung 1 eingetragen. Dabei sind: Messpunkt 3: Delphinlagune nahe der Unterwasserscheibe zum „Blauen Salon“, Messpunkt 4: Becken 6 in der Traglufthalle, Messpunkt 5: Rundbecken im alten Delphinarium und Messpunkt 6: Vorführbecken im alten Delphinarium.



Abbildung 1: Messpunkte im Bereich der Delphinlagune (Kartengrundlage: OpenStreetMap)

Zur Messung wurde ein Hydrophon B&K 8103, ein Ladungsverstärker B&K 2635, im Frequenzbereich bis 50 kHz ein Soundbook MK2-4L G von SINUS Messtechnik und im Frequenzbereich oberhalb von 50 kHz ein FFT-Analysator HP 35665 A von Hewlett-Packard eingesetzt. Der FFT-Analysator erforderte einen Netzbetrieb. Dies führte zu Problemen mit elektrischen Störsignalen, die vermutlich auf Potentialdifferenzen zwischen dem sich im Salzwasser befindlichen Hydrophon und dem Netzanschluss des HP-FFT beruhten. Die Messungen mit dem Soundbook fanden daher mit Batteriebetrieb statt. In diesem Beitrag werden die Messungen mit dem Soundbook vorgestellt.

Mit dem Soundbook wurden Zeitabschnitte von 30 Sekunden mit einer Abtastfrequenz von 102,4 kHz aufgezeichnet und ausgewertet. Das Hydrophon wurde mit einer Angel in eine Tiefe von 1 bis 1,5 m in die jeweiligen Becken abgesenkt.

Auswertung

Zur Beurteilung der Messungen wurden Schmalbandspektren mit einer Frequenzauflösung von 1 Hz erstellt. Dies ermöglicht die gute Vergleichbarkeit von Leistungsdichtespektren, die im Wasserschall oft Verwendung finden (siehe auch [1]). Es wurde ein Hanning-Fenster mit 50% Overlap verwendet. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 2 - 13 dargestellt.

Nach [2] sind Delphine vor übermäßigem Lärm zu schützen. Technische Anlagen und akustische Programme dürfen im Regelbetrieb keine Umgebungslautstärken verursachen, die im Wasser einen Geräuschpegel von 40 dB über der Hörschwelle für Große Tümmler überschreiten. Daher wurde die Hörschwelle des großen Tümmlers aus der Literatur entnommen [3-5] und in die Diagramme eingetragen (schwarze durchgezogene Linie). Zusätzlich wurde die um 40 dB nach oben verschobene Hörschwelle eingetragen (schwarze gestrichelte Linie).

Während der Messungen wurden verschiedene Aggregate hinzugeschaltet. Teilweise wurde auch die Beleuchtung ein- und ausgeschaltet. Während der Winterzeit ist über Becken 6 (Messpunkt 4) eine Traglufthalle (TLH) aufgestellt. Bei den Messungen in Becken 6 wurden die Aggregate zur Luftzufuhr dieser Traglufthalle zum Teil abgeschaltet. Bei allen anderen Messungen sind diese Aggregate immer eingeschaltet.

Die anderen Aggregate zur Wasseraufbereitung sind in drei Gruppen zusammengefasst:

Es sind dies die Eiweißabscheider 6 und 7 mit den dazugehörigen Umwälzpumpen zum alten Delphinarium (D1), die in den Diagrammen mit „EWA 6+7“ gekennzeichnet sind (TLH, EWA 6+7). In der nächsten Stufe wurden die Eiweißabscheider 2 und 4 mit den Umwälzpumpen für die Warmwasseraufbereitung zugeschaltet (TLH, EWA 6+7, EWA 2+4). Beim letzten Zustand wurden die Eiweißabscheider 1 und 5 mit den Umwälzpumpen für die Kaltwasseraufbereitung zugeschaltet (TLH, EWA 6+7, EWA 2+4, EWA 1+5).

Beim Messpunkt 3 wurde zusätzlich der Luftschalleintrag einer Beschallungsanlage im Blauen Salon über eine Glas trennscheibe zum angrenzenden Becken untersucht.

Abbildung 2 zeigt das Wasserschallspektrum von Messpunkt 3 von 5 Hz bis 50 kHz in logarithmischer Darstellung der Frequenzachse und in Abbildung 3 mit linearer Frequenzachse. Zwischen 40 Hz und 2 kHz wird der Pegel durch die Aggregate der Wasseraufbereitung im Vergleich zum alleinigen Betrieb der Traglufthalle teilweise in einzelnen Frequenzen um bis zu 20 dB erhöht. Der Pegel bleibt dabei allerdings in diesem Frequenzbereich deutlich unter der Hörschwelle des großen Tümmlers.

Das Eigenrauschen der Messapparatur liegt ab etwa 1 kHz unterhalb von 60 dB pro Hz.

Im Bereich von etwa 18 kHz und 45 kHz treten einzelne Frequenzspitzen auf, die im Bereich von 45 kHz für eine Frequenzlinie den Pegel der um 40 dB angehobenen Hörschwelle des großen Tümmlers überschreiten. Bei der Betrachtung dieser Frequenzen zeigt sich sowohl bei 18 als auch bei 45 kHz, dass diese Frequenzspitzen bei allen Messungen an diesem Messpunkt auftraten. Es ließ sich nicht sicher klären, ob diese Pegelspitzen als Wasserschall vorhanden sind oder durch elektrische Störsignale erzeugt wurden. Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt im Frequenzbereich von 44,9 bis 46,4 kHz.

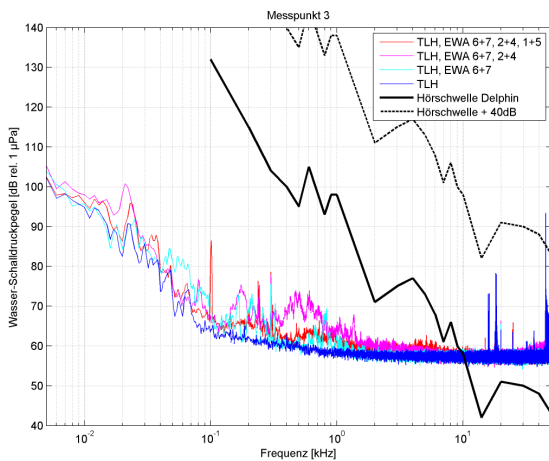


Abbildung 2: FFT-Spektrum Messpunkt 3

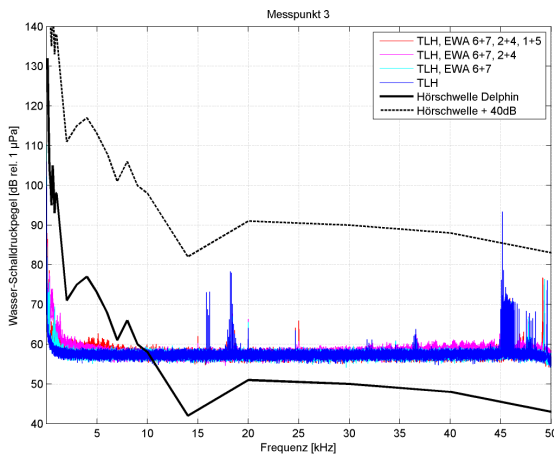


Abbildung 3: FFT-Spektrum Messpunkt 3

In Abbildung 5 ist der Einfluss von Musikbeschallung im Blauen Salon auf den Wasserschallpegel am Messpunkt 3 dargestellt.

Der Blaue Salon ist über eine Glastrennscheibe mit dem Becken verbunden, in dem sich der Messpunkt 3 befindet. Über die Musikanlage im Blauen Salon wurde mittels eines MP3-Players Popmusik eingespielt. Der Luftschallpegel lag im Bereich der Glastrennscheibe bei etwa 85 dB(A).

Im Bereich von 70 Hz bis 9 kHz erhöht sich der Pegel an Messpunkt 3 um bis zu 25 dB. Der Wasserschallpegel bleibt dabei unterhalb der Hörschwelle des großen Tümmlers. Die Frequenzspitzen im Bereich von 18 und 45 kHz sind dabei

bei beiden Messungen vorhanden und haben nichts mit der Musikbeschallung zu tun, wie dies auch im Vergleich von Abbildung 2 mit Abbildung 5 zu kennen ist (siehe dazu auch Abbildung 4).

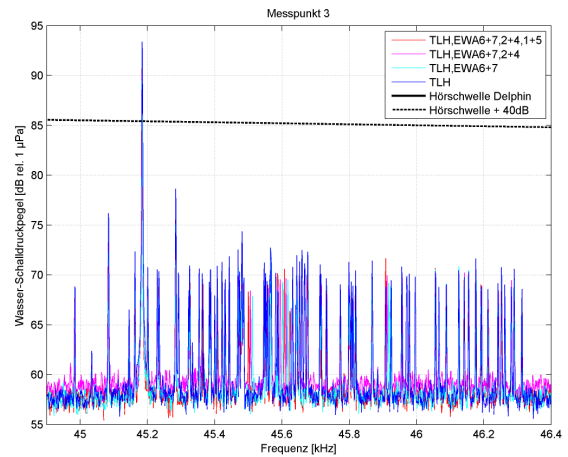


Abbildung 4: FFT-Spektrum Messpunkt 3 - Ausschnitt

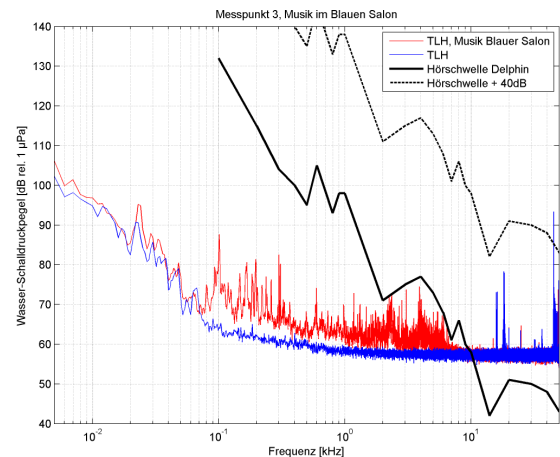


Abbildung 5: FFT-Spektrum Messpunkt 3 - Musik im Blauen Salon

Selbst bei einem um 20 dB höheren Luftschallpegel im Blauen Salon läge der Wasserschallpegel an Messpunkt 3 noch unterhalb der um 40 dB nach oben verschobenen Hörschwelle des großen Tümmlers. Eine Lärmbelastigung der Delphine durch Musikdarbietungen im Blauen Salon scheint damit nicht gegeben.

In den Abbildungen 6 und 7 sind die Ergebnisse von Messpunkt 4 unter der Traglufthalle dargestellt. Bei diesem Messpunkt wurden auch die Aggregate zur Luftzufuhr der Traglufthalle temporär während einer Messung abgeschaltet.

Vergleicht man das Spektrum der Messung, bei der alle Aggregate ausgeschaltet sind (grüne Kurve) mit der Messung, bei der die Luftzufuhr der Traglufthalle in Betrieb ist (blaue Kurve), so sind zwischen den beiden Kurven keine Unterschiede feststellbar.

Die Eiweißabscheider 6 und 7 mit den zugehörigen Umwälzpumpen führen an diesem Messpunkt im Frequenzbereich bis 8 kHz nur zu einem geringfügigen Anstieg des Pegels (cyan farbene Kurve). Auch die Frequenzspitzen bei 10 und 15 kHz steigen weniger an, als dies beim Betrieb zusammen

mit den anderen Aggregaten der Eiweißabscheider 2 und 4 bzw. 1 und 5 der Fall ist. Dies ist auch gut in Abbildung 8 zu erkennen, die einen Ausschnitt von 14,6 bis 15,4 kHz zeigt. Man erkennt die typischen Modulationspektren, wie sie bei umrichtergesteuerten Maschinen auftreten.

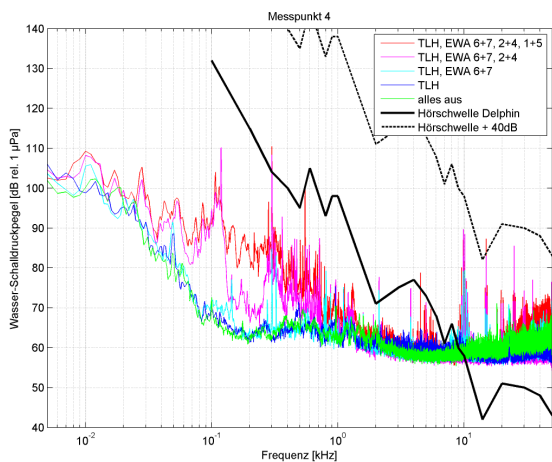


Abbildung 6: FFT-Spektrum Messpunkt 4

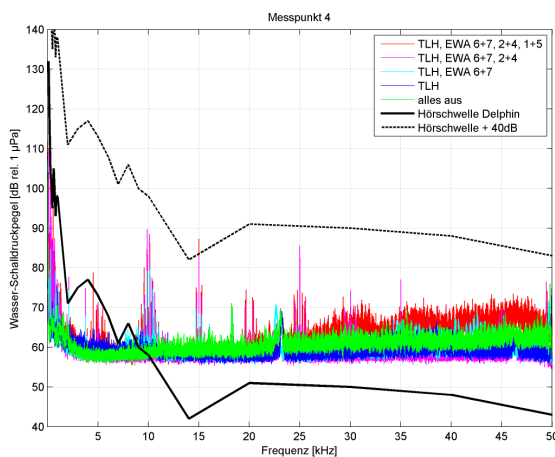


Abbildung 7: FFT-Spektrum Messpunkt 4

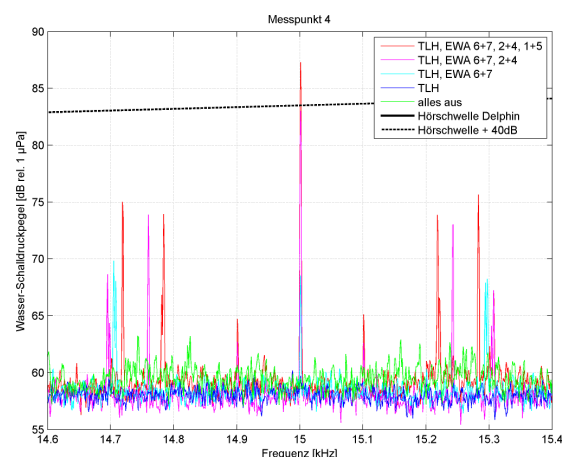


Abbildung 8: FFT-Spektrum Messpunkt 4 - Ausschnitt 1

Beim Zuschalten des Betriebs von EWA 2 und 4 (magenta farbene Kurve) bzw. 1 und 5 steigt der Pegel sowohl bei tiefen Frequenzen von etwa 40 Hz bis 800 Hz wie auch bei den ausgeprägten Frequenzspitzen bei 10 und 15 kHz sowie 25 kHz an. Dabei wird die um 40 dB nach oben verschobene

Hörschwelle des großen Tümmlers bei 15 kHz im Falle aller angeschalteten Aggregate (rote Kurve) überschritten. Dies ist in Abbildung 8 und vor allem in Abbildung 9, die einen noch schmaleren Ausschnitt um 15 kHz zeigt, gut zu erkennen.

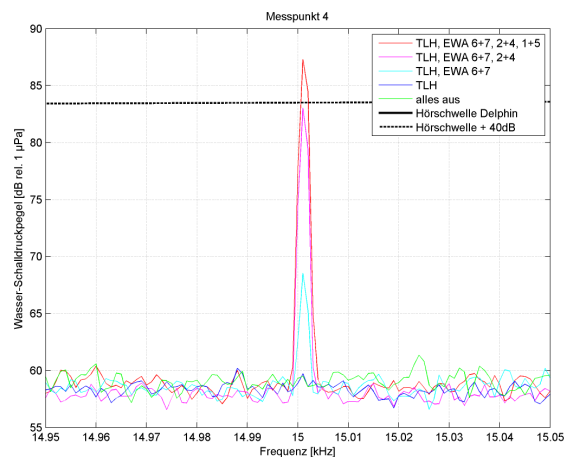


Abbildung 9: FFT-Spektrum Messpunkt 4 - Ausschnitt 2

In den Abbildungen 10 und 11 sind die Ergebnisse der Messungen an Messpunkt 5 dargestellt. Dieser Messpunkt befindet sich im Rundbecken des alten Delphinariums (D1).

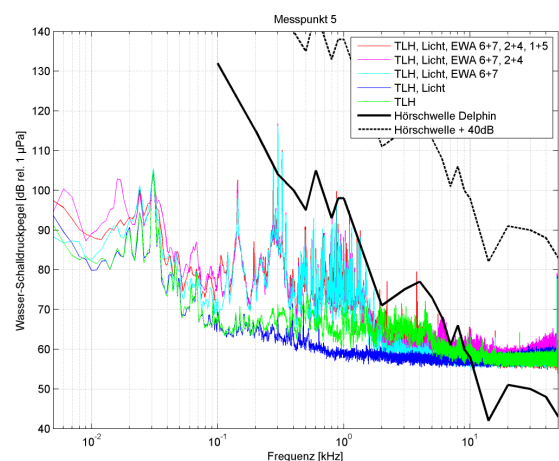


Abbildung 10: FFT-Spektrum Messpunkt 5

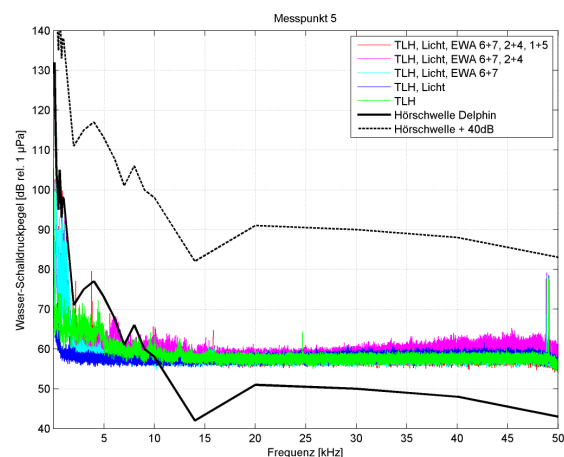


Abbildung 11: FFT-Spektrum Messpunkt 5

Die Unterschiede zwischen dem Betrieb der Luftzufuhr der Tragflughalle ohne Licht (grüne Kurve) und mit Licht (blaue

Kurve) sind gering. Da ein zeitlicher Abstand zwischen den Messungen lag, ist der breitbandige Anstieg zwischen 200 Hz und 7 kHz beim Betrieb ohne Licht vermutlich auf Geräusche durch Wasserbewegungen zurückzuführen.

Bei der Inbetriebnahme der Eiweißabscheider und der dazugehörigen Umwälzpumpen steigt der Pegel im Bereich von 40 Hz bis 2 kHz an. Dabei zeigen sich teils auffällige Frequenzspitzen in diesem Bereich, von denen ein Großteil allerdings unterhalb der Hörschwelle des großen Tümmlers liegt. Die Pegel bleiben deutlich unter der um 40 dB nach oben verschobenen Hörschwelle des großen Tümmlers.

Bei 49 kHz zeigt sich in allen Fällen eine einzelne Pegelspitze, die aber unter der um 40 dB nach oben verschobenen Hörschwelle liegt.

Die Ergebnisse für den Messpunkt 6 (Vorführbecken) sind in den Abbildungen 12 und 13 dargestellt.

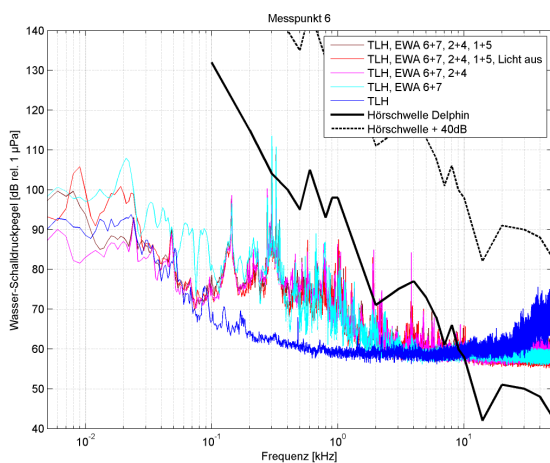


Abbildung 12: FFT-Spektrum Messpunkt 6

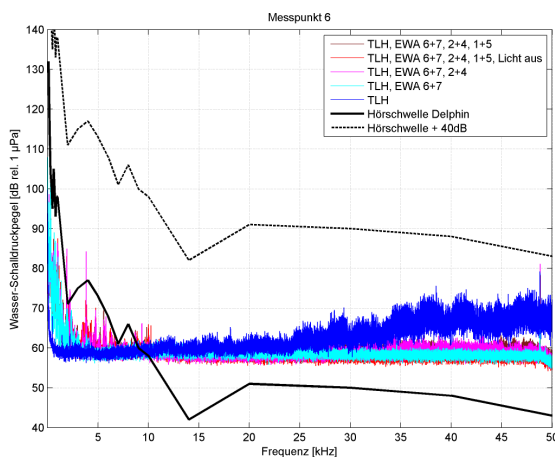


Abbildung 13: FFT-Spektrum Messpunkt 6

Ähnlich wie bei Messpunkt 5 steigt auch hier der Pegel mit Inbetriebnahme der Eiweißabscheider und der dazugehörigen Umwälzpumpen im Bereich von 70 Hz bis 7 kHz an. Auch hier zeigen sich zum Teil auffällige Frequenzspitzen, von denen ein Großteil allerdings unterhalb der Hörschwelle bleibt. Die Pegel aller dieser Frequenzspitzen bleiben ebenfalls deutlich unter der um 40 dB nach oben verschobenen Hörschwelle.

Zusammenfassung

Die Wasserschallmessungen zeigten lediglich für die Messpunkte 3 und 4 Überschreitungen der um 40 dB nach oben verschobenen Hörschwelle. Die Überschreitung bei Messpunkt 3 beträgt bei 45 kHz ca. 8 dB, bei Messpunkt 4 liegt sie bei 15 kHz unter 5 dB. Beide Überschreitungen werden durch reine Töne erzeugt. Bei Messpunkt 3 ist der Ton auch bei ausgeschalteten Aggregaten der Wasseraufbereitung vorhanden. Bei Messpunkt 4 dagegen tritt der Ton nur bei eingeschalteten Aggregaten der Wasseraufbereitung auf. Eine Überschreitung wurde lediglich für den Fall gemessen, an dem alle Aggregate der Eiweißabscheider und Umwälzpumpen in Betrieb waren. Ob es sich bei der Überschreitung an Messpunkt 3 um tatsächlichen Wasserschall oder elektrische Störungen in die Messkette handelt, konnte nicht hinreichend geklärt werden.

Der Betrieb einer Musikbeschallungsanlage im Blauen Salon scheint unproblematisch. Eine Überschreitung der um 40 dB nach oben verschobenen Hörschwelle an Messpunkt 3 im nächstgelegenen Becken zur Gastrennscheibe des Blauen Salons ist selbst bei Luftschallpegeln von über 100 dB(A) im Bereich der Gastrennscheibe im Blauen Salon nicht zu befürchten.

Literatur

- [1] H.G. Urban, Handbuch der Wasserschalltechnik, 2. Auflage, STN Atlas Elektronik GmbH, Bremen, 2002
- [2] Gutachten über Mindestanforderungen an die Haltung von Säugetieren, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Tierschutzreferat, Mai 2014
- [3] W.C. Stebbins, The Acoustic Sense of Animals, Harvard University Press, Cambridge Massachusetts, 1983
- [4] E.R. Gerstein, L. Gerstein, S.E. Forsythe, J.E. Blue, The underwater audiogram of the West Indian manatee (*Trichechus manatus*), Journal of the Acoustical Society of America (JASA), 105(6), 1999, pp. 3575-3583
- [5] S.C. Johnson, Sound detection thresholds in marine mammals, Marine Bioacoustics (ed. W.N. Tavoga), Pergamon Press, New York, Vol. 2, 1967, pp. 247-260