Wasserschallmessungen in der Delphinlagune des Nürnberger Tiergartens – Teil 2

Rudi Volz[1], André Jakob[1], Lorenzo von Fersen[2]

[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 im April 2014 und im Februar 2015 Wasserschallmessungen durchgeführt. Ziel war die präventive Erfassung von eventuellen Lärmbelastungen durch Pumpen und anderen Aggregaten auf die Tiere und eine Bewertung der gegenwärtigen Situation, um gegebenenfalls weitere Schlussfolgerungen für den Betrieb daraus ziehen zu können. Hintergrund ist das Gutachten über Mindestanforderungen an die Haltung von Säugetieren [1]. Danach 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.

Bei einer ersten Auswertung, deren Ergebnisse auf der letzten DAGA [2] vorgestellt wurden, zeigten sich bei zwei Messpunkten Überschreitungen der um 40 dB angehobenen Hörschwelle. In diesem Beitrag soll gezeigt werden, dass es sich dabei nicht um Wasserschall, sondern um elektrische Störungen gehandelt hat.

Messduchführung

Bei der Wintermessung, die im Februar 2015 durchgeführt wurde, wurden vier Messpunkte vermessen. Im Mai 2015 und im Februar 2016 fanden weitere Messungen teils an zusätzlichen Orten statt. Alle Messpunkte sind in gelb in Abbildung 1 eingetragen. Dabei sind: Messpunkt 3: in der Delphinlagune im Becken 3, Messpunkt 4: in Becken 6 unter der Traglufthalle, Messpunkt 5: im Rundbecken im alten Delphinarium und Messpunkt 6: im Vorführbecken im alten Delphinarium. Die zwei zusätzlichen Messpunkte der ergänzenden Messungen in Becken 2 in der Delphinlagune und im Becken 1 unter der Traglufthalle sind ebenfalls eingetragen.

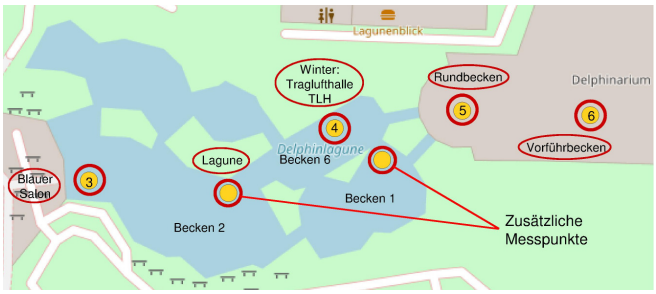

Abbildung 1: Messpunkte im Bereich der Delphinlagune (Kartengrundlage: OpenStreetMap)

Bei den ersten Messungen im April 2014 und im Februar 2015 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 notwendige Netzbetrieb des FFT-Analysators führte zu Problemen mit elektrischen Störsignalen. Die Messungen mit dem Soundbook fanden daher mit Batteriebetrieb statt. Dadurch ließen sich die elektrischen Störungen deutlich einschränken.

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

Im Mai 2015 fanden Messungen mit einem Hydrophon mit integriertem Vorverstärker (Reson TC 4014-5) und einer externen Soundkarte (Avisoft Bioacoustics UltraSoundGate 116Hn) statt. Diese Soundkarte erlaubt Abtastfrequenzen bis 750 kHz, so dass der komplette Hörbereich der Delphine erfasst werden konnte.

Es wurde eine Kalibrierung des Hydrophons sowohl mit dem Soundbook MK2-4L G als auch mit der UltraSoundGate 116Hn durchgeführt. Bei den im Februar 2016 erfolgten Messungen zur Beurteilung von notwendigen Renovierungsarbeiten in der Delphinlagune wurde das Reson TC 4014-5 mit dem Soundbook MK2-4L G und der UltraSoundGate 116Hn eingesetzt.

Die Ergebnisse dieser ergänzenden Messungen konnten bestätigen, dass die in den vorangegangenen Messungen aufgetretenen Überschreitungen durch elektrische Störungen verursacht worden waren.

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 [3]). Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 2 bis 12 dargestellt.

Nach [2] darf der Geräuschpegel nicht die um 40 dB angehobenen Hörschwelle des großen Tümmlers überschreiten. Daher wurde die Hörschwelle des großen Tümmlers aus der Literatur entnommen [4-6] und in die Diagramme eingetragen (schwarze durchgezogene Linie). Zusätzlich wurde die um 40 dB angehobene Hörschwelle eingetragen (schwarze gestrichelte Linie).

Während der vorangegangenen Messungen wurden verschiedene Aggregate hinzugeschaltet. Während der Winterzeit ist über Becken 6 (Messpunkt 4) und Becken 1 eine Traglufthalle (TLH) aufgestellt. Es zeigte sich, dass deren Betrieb keinen Einfluss auf den Wasserschallpegel hat.

Die Aggregate zur Wasseraufbereitung sind in drei Gruppen zusammengefasst.

Es sind dies die Eiweißabscheider 6 und 7 mit den dazugehörenden 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).

Abbildung 2 zeigt das Wasserschallspektrum von Messpunkt 3 von 50 Hz bis 50 kHz. 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 Pegelspitzen auf, die im Bereich von 45 kHz für eine Frequenzlinie den Pegel der um 40 dB angehobenen Hörschwelle des großen Tümmlers überschreiten. Ansonsten bleibt der Pegel deutlich unter der Hörschwelle des großen Tümmlers.

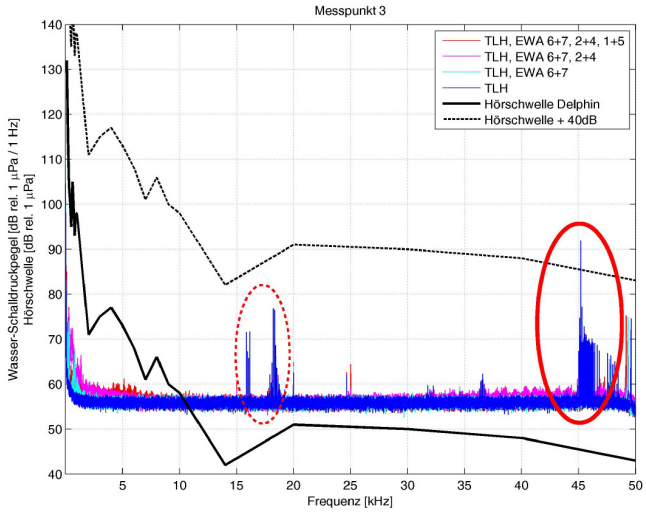

Abbildung 2: FFT-Spektrum Messpunkt 3

Bei der Betrachtung dieser Frequenzen zeigt sich sowohl bei 18 als auch bei 45 kHz, dass diese Frequenzspitzen bei allen Betriebszuständen an diesem Messpunkt auftraten. Es stellte sich daher die Frage, ob diese Pegelspitzen als Wasserschall vorhanden sind oder ob es sich lediglich um elektrische Störsignale handelt. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt im Frequenzbereich von 45,15 bis 45,21 kHz.

Bereits die Betrachtung von Abbildung 4 stützt die These, dass es sich vermutlich um elektrische Störsignale handelt. In dieser Abbildung sind im oberen Teil die Ergebnisse der Wasserschallmessungen mit dem FFT-Analysator und dem Soundbook dargestellt. Wie erwähnt, zeigen die Messungen des FFT-Analysators (grüne Linie) aufgrund des notwendigen Netzbetriebs deutliche elektrische Störungen. Die Pegelspitzen sind hier wesentlich höher als bei der Messung mit dem Soundbook (rote Linie). Betrachtet man die mit orangefarbiger gestrichelter Linie markierten Pegelspitzen bei 18 und 45 kHz, so stellt man fest, dass diese auch bei der Messung am offenen Mikrofonkanal auftraten (blaue Linie im unteren Teil der Grafik). Zu diesem Zeitpunkt war an dem Kabel dieses Kanals allerdings gar kein Mikrofon angeschlossen.

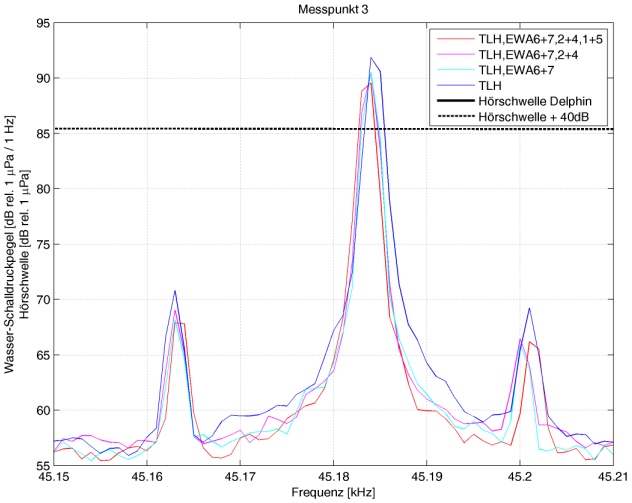

Abbildung 3: FFT-Spektrum Messpunkt 3 - Ausschnitt

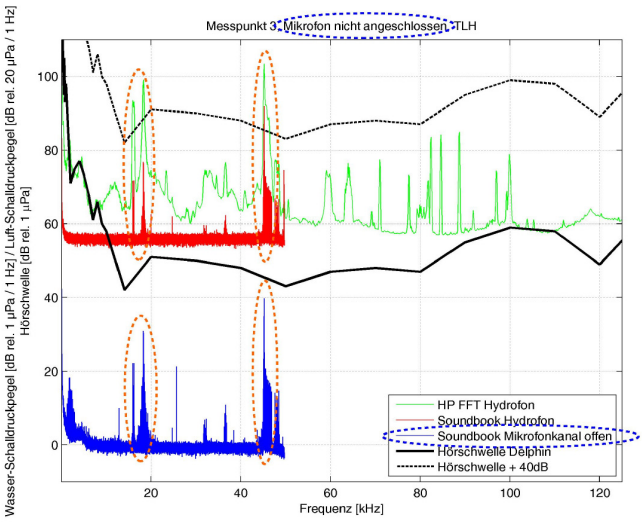

Abbildung 4: FFT-Spektrum Messpunkt 3 – offener Mikrofonkanal

Im Februar 2016 wurden im Becken 2, dass unmittelbar an Becken 3 anschließt, in dem sich Messpunkt 3 befand, Messungen mit dem Reson Hydrophon TC 4014-5 durchgeführt. Dieses Hydrophon besitzt einen integrierten Vorverstärker und ist daher für elektrische Einstreuungen wesentlich unempfindlicher.

Abbildung 5 zeigt das Ergebnis der Messungen. Bis 50 kHz wurde das Hintergrundgeräusch der Wasseraufbereitungsanlagen mit dem Soundbook gemessen (grüne Linie im Hintergrund). Anschließend wurde der Einfluss einer Sandstrahlbehandlung eines Abschnittes, der sich nördlich von Becken 5 befindet auf den Wasserschallpegel auf den Messpunkt in Becken 2 untersucht. Die blaue Linie zeigt das Ergebnis mit dem Soundbook, die cyane Linie das Ergebnis mit der UltraSoundGate.

Alle Messungen bleiben deutlich unter der um 40 dB angehobenen Hörschwelle. Die Messungen mit der UltraSoundGate bis 150 kHz zeigen, dass dies für den gesamten Hörfrequenzbereich des Delphins zutrifft. Vergleicht man die Messungen von Soundbook und UltraSoundGate im Frequenzbereich von 20 bis 50 kHz, so stellt man fest, dass bei der Mes-

sung mit der UltraSoundGate schmale Pegelspitzen auftreten. Dies zeigt sich auch bei etwa 80, 130 und 150 kHz (Markierung durch rot gestrichelte Linie). Offensichtlich treten auch hier elektrische Einstreuungen auf.

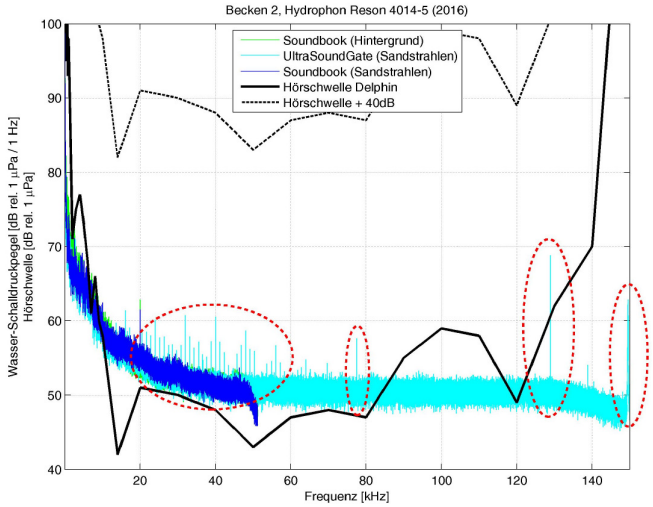

Abbildung 5: FFT-Spektrum Becken 2 im Februar 2016

Bei den ursprünglichen Messungen im Februar 2015 trat auch bei Messpunkt 4 eine Überschreitung der um 40 dB angehobenen Hörschwelle bei 15 kHz auf (Abbildung 6).

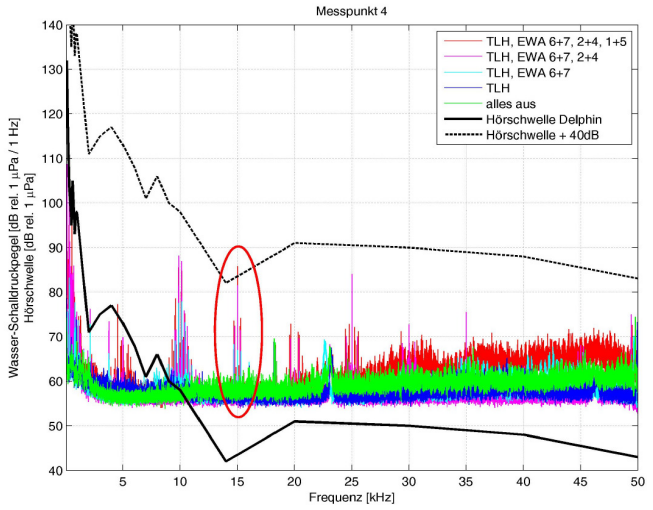

Abbildung 6: FFT-Spektrum Messpunkt 4

Die Höhe der Pegelspitze hing im Gegensatz zur Messung an Messpunkt 3 jedoch vom Betrieb der Wasseraufbereitungsanlagen ab, wie im Frequenzausschnitt von 14,95 bis 15,05 kHz zu erkennen ist (Abbildung 7).

Bereits die im Mai 2015 durchgeführte Messung in Becken 1 in der Nähe von Messpunkt 4 mit dem Reson Hydrophon und der UltraSoundGate (cyane Linie in Abbildung 8) zeigte, dass hier im Wasserschall keine Pegelspitze vorlag, sondern dass es sich bei der damaligen Messung mit dem B&K Hydrophon offensichtlich um elektrische Einstreuungen handelte. Da sich zum Zeitpunkt der Messungen im Mai 2015 allerdings mehrere Delphine in der Nähe aufhielten, ist der Pegel breitbandig durch die Ortungsgeräusche der Delphine ab etwa 20 bis 140 kHz erhöht (Markierung durch rote gestrichelte Linie).

Die blaue Linie zeigt eine Kontrollmessung mit der UltraSoundGate, bei der sich das Reson Hydrophon in einem Wassereimer befand. Die aufgetretenen Pegelspitzen unter 40 und über 120 kHz (rote gestrichelte Linien) sind ganz offensichtlich elektrische Störungen. Im Februar 2016 wurde außerdem eine Messung mit Reson Hydrophon und Soundbook durchgeführt (grüne Linie). Auch hier zeigte sich keine Überschreitungen bei 15 kHz.

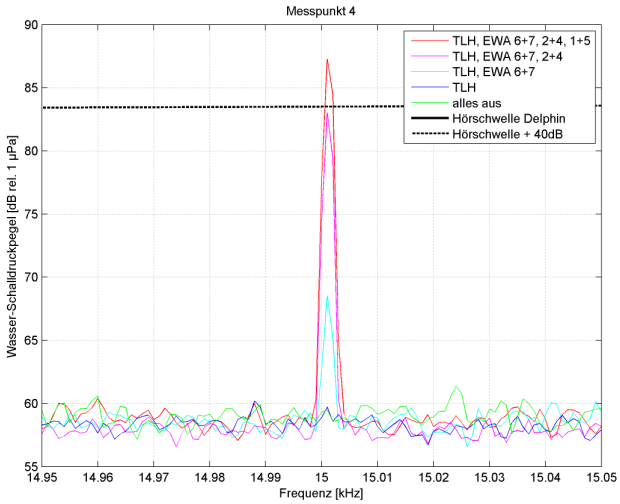

Abbildung 7: FFT-Spektrum Messpunkt 4 - Ausschnitt

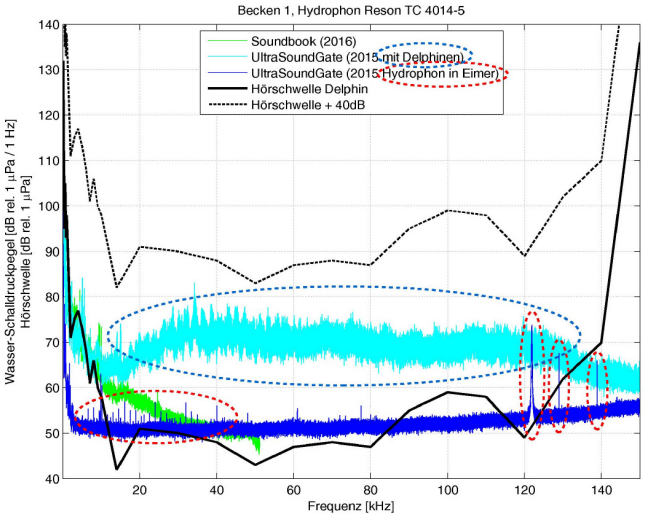

Abbildung 8: FFT-Spektrum Becken 1 (nahe Messpunkt 4)

In den Abbildungen 9 bis 12 sind die eigentlichen Geräusche der Wasseraufbereitungsanlagen dargestellt. Sie liegen unter 3 kHz, so dass alle Diagramme nur bis 3 kHz dargestellt sind.

Abbildung 9 zeigt das Ergebnis für Messpunkt 3. Ergänzend wurde das Ergebnis der Messung von 2016 in Becken 2 eingetragen.

Abbildung 10 zeigt das Ergebnis für Messpunkt 4. Auch hier wurde das Ergebnis der Messung von 2016 eingetragen.

In Abbildung 11 sind die Ergebnisse der ursprünglichen Messungen an Messpunkt 5 dargestellt. Dieser Messpunkt befindet sich im Rundbecken des alten Delphinariums (D1).

Und in Abbildung 12 sind die Ergebnisse für den Messpunkt 6, der sich im Vorführbecken des alten Delphinariums (D1) befindet, dargestellt.

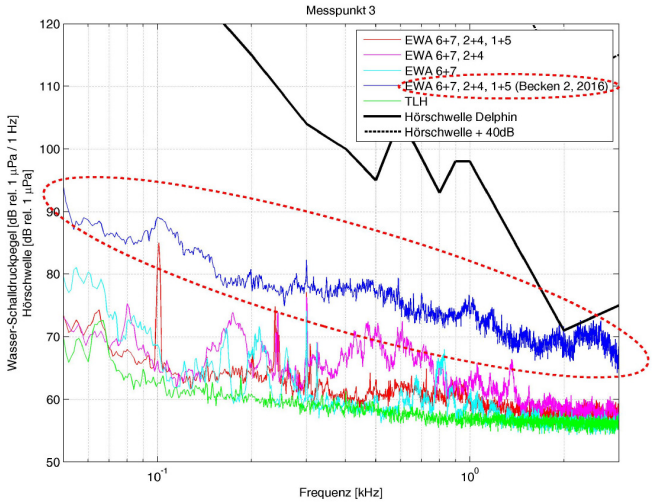

Abbildung 9: FFT-Spektrum Messpunkt 3 bis 3 kHz

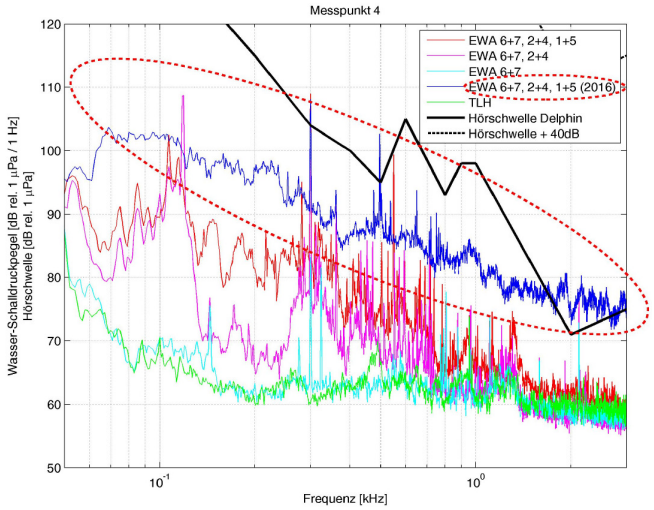

Abbildung 10: FFT-Spektrum Messpunkt 4 bis 3 kHz

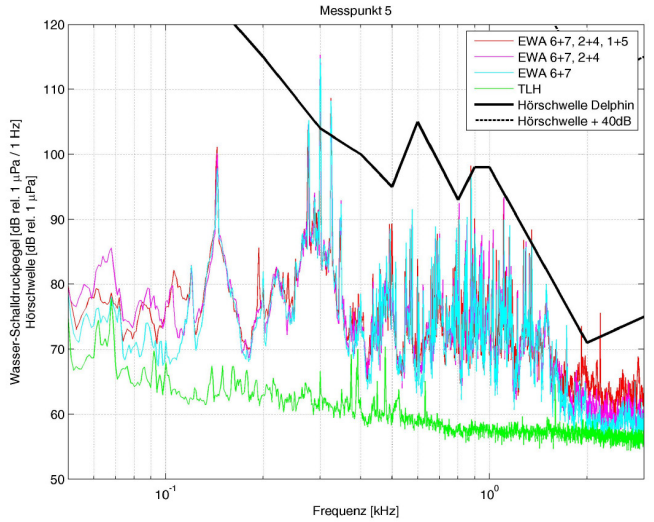

Abbildung 11: FFT-Spektrum Messpunkt 5 bis 3 kHz

In allen Fällen liegen die Pegel unterhalb oder höchstens vereinzelt in der Nähe der Hörschwelle, jedoch deutlich unter der um 40 dB angehobenen Hörschwelle, die nach [1] nicht überschritten werden darf.

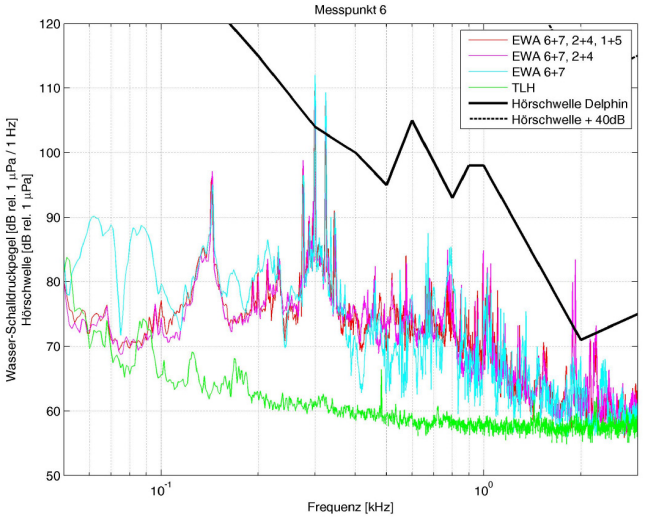

Abbildung 12: FFT-Spektrum Messpunkt 6 bis 3 kHz

Zusammenfassung

Die in den ursprünglichen Messungen aufgetretenen Überschreitungen der um 40 dB nach oben verschobenen Hörschwelle des großen Tümmlers an den Messpunkten 3 und 4 konnten auf elektrische Störungen zurückgeführt werden.

Dies zeigten ergänzende Betrachtungen zu den Messergebnissen sowie weitere durchgeführte Messungen mit dem Soundbook und einem Hydrophon mit integriertem Vorverstärker sowie einer externen Soundkarte.

Im gesamten Hörfrequenzbereich der Delphine konnten somit Überschreitungen der um 40 dB nach oben verschobenen Hörschwelle durch den Betrieb der Wasseraufbereitungsanlagen ausgeschlossen werden.

Literatur

[1] Gutachten über Mindestanforderungen an die Haltung von Säugetieren, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Tierschutzreferat, Mai 2014

[2] R. Volz, A. Jakob, L. von Fersen, Wasserschallmessungen in der Delphinlagune des Nürnberger Tiergartens, DAGA 2015 in Nürnberg

[3] H.G. Urban, Handbuch der Wasserschalltechnik, 2. Auflage, STN Atlas Elektronik GmbH, Bremen, 2002

[4] W.C. Stebbins, The Acoustic Sense of Animals, Harvard University Press, Cambridge Massachusetts, 1983

[5] 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

[6] S.C. Johnson, Sound detection thresholds in marine mammals, Marine Bioacoustics (ed. W.N. Talvoga), Pergamon Press, New York ,Vol. 2, 1967, pp. 247-260