



Anbefalinger vedr. opdatering af vejledning for beregning af undervandstøj

Energistyrelsen
Dato: 9. marts 2026

Indhold

1.	Introduktion til reviderede retningslinjer for undervandsstøjspåvirkninger på havpattedyr.....	3
2.	Ændringer i NMFS-vejledning fra 2024	4
2.1.	Høregrupper.....	4
2.2.	Ændring af betegnelse af PTS til AUD INJ.....	4
2.3.	Opdaterede tærskelværdier for TTS og AUD INJ (tidligere PTS).....	5
2.4.	Opdatering af vægtningsfunktioner og vægtningskurver	6
3.	Anbefaling	8
4.	Referencer.....	9

1. Introduktion til reviderede retningslinjer for undervandsstøjspåvirkninger på havpattedyr

I 2018 udgav National Marine Fisheries Service (NMFS) en opdateret teknisk vejledning, der har til formål at vurdere, hvordan menneskeskabt lyd påvirker hørelsen hos marine pattedyr. Vejledningen fastlægger videnskabeligt baserede tærskelværdier for, hvornår marine pattedyr kan opleve midlertidig hørenedsættelse (TTS) eller permanent høretab (PTS). Vejledningen omfatter ikke tærskelværdier for adfærdsmæssige påvirkninger, men koncentrerer sig udelukkende om de fysiologiske effekter på hørelsen. For at tage højde for, at forskellige arter har varierende følsomhed på tværs af frekvenser, anbefaler vejledningen brugen af frekvensvægtede tærskelværdier. Disse tærskelværdier er fastsat på baggrund af flere typer videnskabelige undersøgelser og data, herunder (National Marine Fisheries Service., 2018):

- Audiogrammer, der viser høreområdet for forskellige marine pattedyr
- Studier af midlertidig hørenedsættelse (TTS-studier)
- Equal latency-kurver, som beskriver, hvilke lydstyrker ved forskellige frekvenser der fremkalder samme reaktionstid
- Anatomiske studier af ørets struktur hos marine pattedyr

På baggrund af disse data inddeler NMFS-vejledningen marine pattedyr i fem høregrupper, som hver har forskelligt høreområde og følsomhed:

- **LF cetaceans** (bardehvaler) – 7 Hz til 35 kHz
- **MF cetaceans** (delfiner, kaskelotter samt flere store tandhvaler) – 150 Hz til 160 kHz
- **HF cetaceans** (marsvin m.fl.) – 275 Hz til 160 kHz
- **PW pinnipeds** (ægte sæler, under vand) – 50 Hz til 86 kHz
- **OW pinnipeds** (søløver, pelssæler, under vand) – 60 Hz til 39 kHz

I 2019 udkom Southall et al. med en rapport, der opdaterede navngivningen af høregrupperne (Southall, et al., 2019). Her blev navnene på de tre hvalgrupper justeret for at afspejle nyere viden, mens navngivningen for sælarterne forblev uændret. Rapporten inddrog data fra perioden 2007 til 2018 og foreslog følgende opdeling:

- **LF cetaceans** (bardehvaler) – 7 Hz til 35 kHz
- **HF cetaceans** (delfiner, kaskelotter samt flere store tandhvaler) – 150 Hz til 160 kHz
- **VHF cetaceans** (marsvin m.fl.) – 275 Hz til 160 kHz

Tærskelværdier og vægtningskurver fra NMFS (2018) samt navngivningen fra Southall et al. (2019) er blevet anvendt i den danske vejledning for beregning af påvirkning fra undervandsstøj på havpattedyr i forbindelse med installation af pælefundamenter (Energistyrelsen, 2024).

I 2024 har NMFS udgivet en revideret version af deres vejledning fra 2018, hvor der både er introduceret nye vægtningskurver og justerede grænseværdier for midlertidig hørenedsættelse (TTS) samt høreskader (AUD INJ), som omfatter, men ikke er begrænset til, PTS. Derudover er der angivet tærskelværdier for sæler i luft (National Marine Fisheries Service, 2024).

Formålet med dette notat er at redegøre for de centrale ændringer i den reviderede NMFS-vejledning samt vurdere, om disse ændringer indebærer, at de danske vejledninger om undervandsstøj (Revised Danish Guidelines for Underwater Noise from Installation of Impact or Vibratory Driven Piles, 2023, Guidelines for underwater noise. Prognosis for EIA and SEA assessments, 2022, Danish survey application tool (DSAT) guideline for geofysiske og geotekniske undersøgelser, 2026) også bør opdateres, så de afspejler de nyeste NMFS-anbefalinger. Målet er derved at sikre, at vurderingen af påvirkning fra undervandsstøj på havpattedyr sker på et fagligt opdateret grundlag i tråd med den nyeste internationale forskning og praksis.

2. Ændringer i NMFS-vejledning fra 2024

Den reviderede NMFS-vejledning fra 2024 baserer sig på en grundig gennemgang og sammenfatning af den nyeste videnskabelige litteratur. I de følgende afsnit gives en kort gennemgang af de ændringer i 2024-versionen af NMFS-vejledningen, der har relevans for de danske vejledninger. I dansk farvand er det følgende høregrupper, der er relevante: Lavfrekvente (LF)-hvaler, Højfrekvente (LF)-hvaler, Meget højfrekvente (LF)-hvaler samt Ægte sæler.

2.1. Høregrupper

Siden udgivelse af NMFS-vejledningen fra 2018 samt Southall et al fra 2019 er der gennemført en lang række videnskabelige undersøgelser, der har haft til formål at kortlægge hørelsen hos forskellige marine pattedyr. På baggrund af resultaterne fra de seneste undersøgelser er høreområdet (hearing range) for samtlige høregrupper – med undtagelse af højfrekvente hvaler (High-Frequency Cetaceans, HF) – blevet revideret i NMFS-vejledningen fra 2024, hvilket fremgår af nedenstående tabel (se Tabel 2.1).

En væsentlig ændring i den reviderede NMFS-vejledning fra 2024 er, at der nu indgår en differentiering af sælers auditive frekvensområde afhængigt af, om de opholder sig i luft eller under vand. Hvor tidligere vurderinger primært har taget udgangspunkt i sælers hørelse under vand, opererer vejledningen nu med særskilt fastsatte frekvensgrænser for både phocidae- og otariidae-familierne i henholdsvis det akvatiske og terrestriske miljø.

Høregruppe	Frekvensområde
Lavfrekvente (LF)-hvaler	7 Hz – 36 kHz
Højfrekvente (HF)-hvaler	150 Hz – 160 kHz
Meget højfrekvente (VHF)-hvaler	200 Hz – 165 kHz
Ægte sæler (PW) i vand	40 Hz – 90 kHz
Ægte sæler (PA) i luft	42 Hz – 52 kHz

Tabel 2.1 Marine pattedyr opdelt i høregrupper samt angivelse af frekvensområde for de enkelte høregrupper, kilde: (National Marine Fisheries Service, 2024).

2.2. Ændring af betegnelse af PTS til AUD INJ

I den opdaterede NMFS-vejledning fra 2024 introduceres begrebet AUD INJ (auditorisk skade) som erstatning for "permanent threshold shift" (PTS). Baggrunden for udskiftning af PTS-begrebet med AUD INJ er, at der er studier, udført på terrestriske pattedyr, som har vist, at selvom en hørenedsættelse i udgangspunktet er reversibel, kan den alligevel føre til varige skader på det auditive system, f.eks. i form af neuropati – altså nerveskader, der kan påvirke hørelsen på længere sigt i form af f.eks. tinnitus (se f.eks. (Kujawa & Liberman, 2009)).

AUD INJ dækker over et bredere spektrum af auditive skader, idet det ikke kun omfatter permanent høretab (PTS), men også andre former for skade på hørelsen. Det vil sige, at AUD INJ både inkluderer tilfælde, hvor der konstateres et varigt tab af høreevne, og situationer hvor der opstår andre former for skader på det auditive system, som måske ikke umiddelbart registreres som et permanent høretab.

2.3. Opdaterede tærskelværdier for TTS og AUD INJ (tidligere PTS)

Siden udgivelsen af NMFS-vejledningen i 2018 er der gennemført adskillige studier på marine pattedyr (særligt marsvin og spættede sæler), hvor midlertidig hørenedsættelse undersøges. De nye studier er medtaget i NMFS-vejledning fra 2024 og har ledt til ændring i grænseværdier til brug for beregning af midlertidig hørenedsættelse samt fastsættelse af kriterier for AUD INJ (auditiv skade) for både impulsive (f.eks. airguns, pæleramning, sprængstoffer) og ikke-impulsive (f.eks. sonar, nedvibrering, boreaktiviteter) lydkilder. For en uddybende liste over nye studier henvises til NMFS-vejledning fra 2024.

Nedenstående tabeller (Tabel 2.2 og Tabel 2.3) viser de opdaterede grænseværdier for AUD INJ og TTS for de forskellige høregrupper samt grænseværdierne for AUD INJ og TTS for de ægte sæler (Phocid pinnipeds) i forhold til luftbåren støj. Det skal bemærkes at 2018 værdierne for permanent skade er PTS.

	AUD INJ Onset* tærskelværdi (SEL-vægtede) $L_{S,E,cum,24h,w}$ [dB re. 1 $\mu Pa^2 s$]	
Høregruppe	Impulsiv	Ikke-impulsiv
Lavfrekvente (LF)-hvaler	183 dB (0 dB)	197 dB (-2 dB)
Højfrekvente (LF)-hvaler	193 dB (+8 dB)	201 dB (+3 dB)
Meget højfrekvente (LF)-hvaler	159 dB (+4 dB)	181 dB (+8 dB)
Ægte sæler (PW) i vand	183 dB (-2 dB)	195 dB (-6 dB)
Ægte sæler (PA) i luft	140 dB	154 dB

Tabel 2.2 Tærskelværdier for AUD INJ for de forskellige høregrupper. De farvede værdier viser størrelsen på ændringen af tærskelværdien mellem vejledningen fra 2018 og 2024. En rød værdi viser en reduktion i tærskelværdien, en grøn en stigning i tærskelværdien og en blå en uændret værdi. Der er ikke angivet ændring for ægte sæler i luft, da der ikke eksisterede grænseværdier herfor i 2018 vejledningen. *Onset tærskelværdi er det laveste lydtryk, hvor der kan opstå AUD INJ.

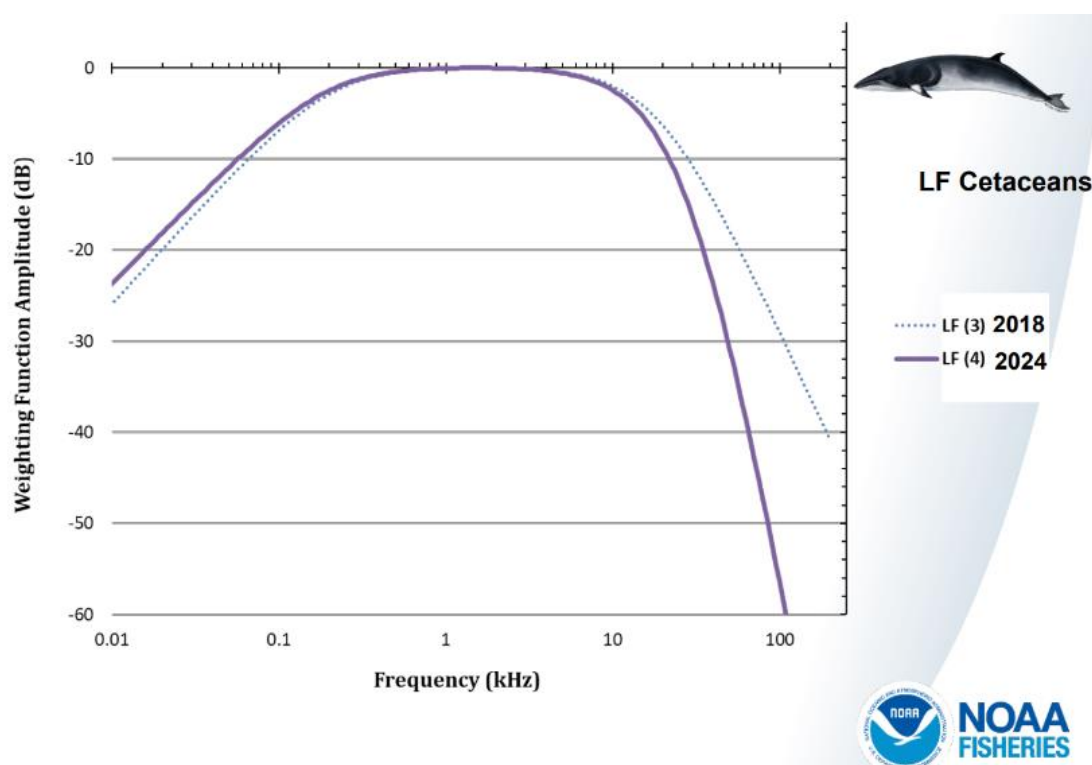
	TTS Onset* tærskelværdi (SEL-vægtede) $L_{S,E,cum,24h,w}$ [dB re. 1 $\mu Pa^2 s$]	
Høregruppe	Impulsiv	Ikke-impulsiv
Lavfrekvente (LF)-hvaler	168 dB (0 dB)	177 dB (-2 dB)
Højfrekvente (LF)-hvaler	178 dB (+8 dB)	181 dB (+3 dB)
Meget højfrekvente (LF)-hvaler	144 dB (+4 dB)	161 dB (+8 dB)
Ægte sæler (PW) i vand	168 dB (-2 dB)	175 dB (-6 dB)
Ægte sæler (PA) i luft	125 dB	134 dB

Tabel 2.3 Tærskelværdier for TTS for de forskellige høregrupper. De farvede værdier viser størrelsen på ændringen af tærskelværdien mellem vejledningen fra 2018 og 2024. En rød værdi viser en reduktion i tærskelværdien, en grøn en stigning i tærskelværdien og en blå en uændret værdi. Der er ikke angivet ændring for ægte sæler i luft, da der ikke eksisterede grænseværdier herfor i 2018 vejledningen. *Onset tærskelværdi er det laveste lydtryk, hvor der kan opstå AUD INJ.

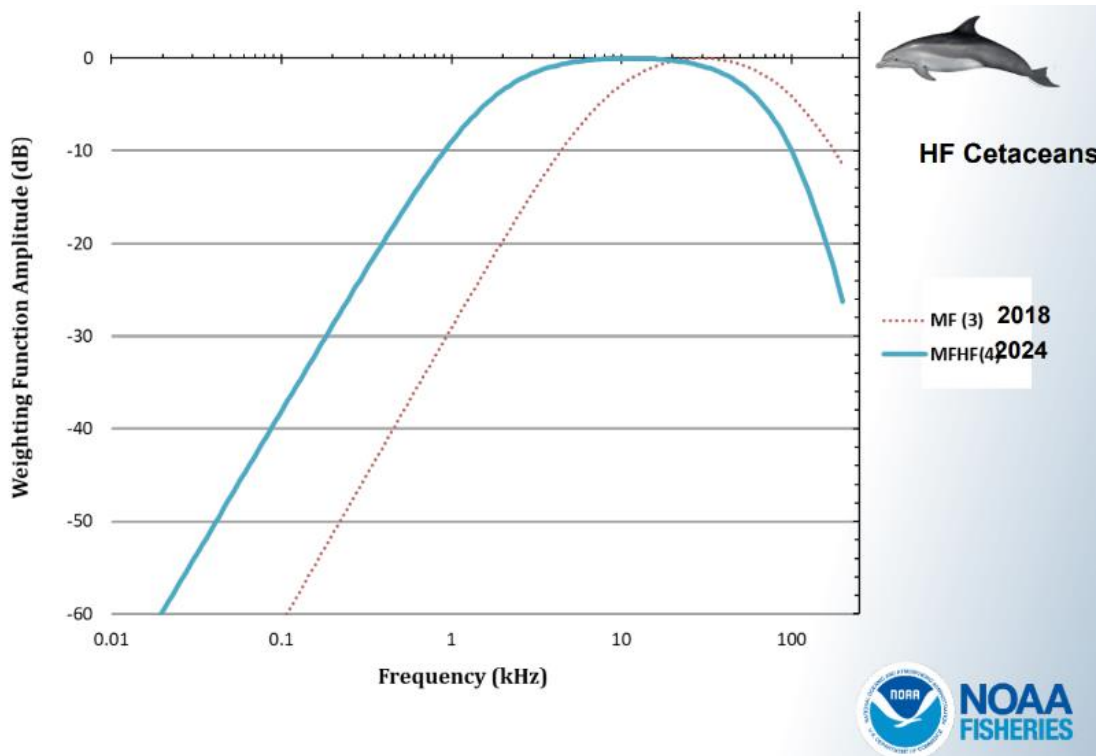
2.4. Opdatering af vægtningsfunktioner og vægtningskurver

Som tidligere nævnt er der ligeledes gennemført nye studier, der tester hørelse hos flere forskellige arter af marine pattedyr. Disse undersøgelser danner sammen med de tidligere anvendte studier det empiriske grundlag for de opdaterede vægtningskurver, som er præsenteret i NMFS-vejledningen fra 2024. Flere af de nye studier, som indgår i NMFS-vejledning fra 2024 er studier udført på arter, som forekommer i dansk farvand, herunder marsvin og spættede sæler. Den overordnede metodik for beregning af vægtningskurver er i store træk uændret i 2024 vejledningen, men konstanterne i vægtningsfunktionen til beregning af vægtningskurverne for de enkelte høregrupper er ændret, således de reflekterer det opdaterede vidensgrundlag om deres hørelse.

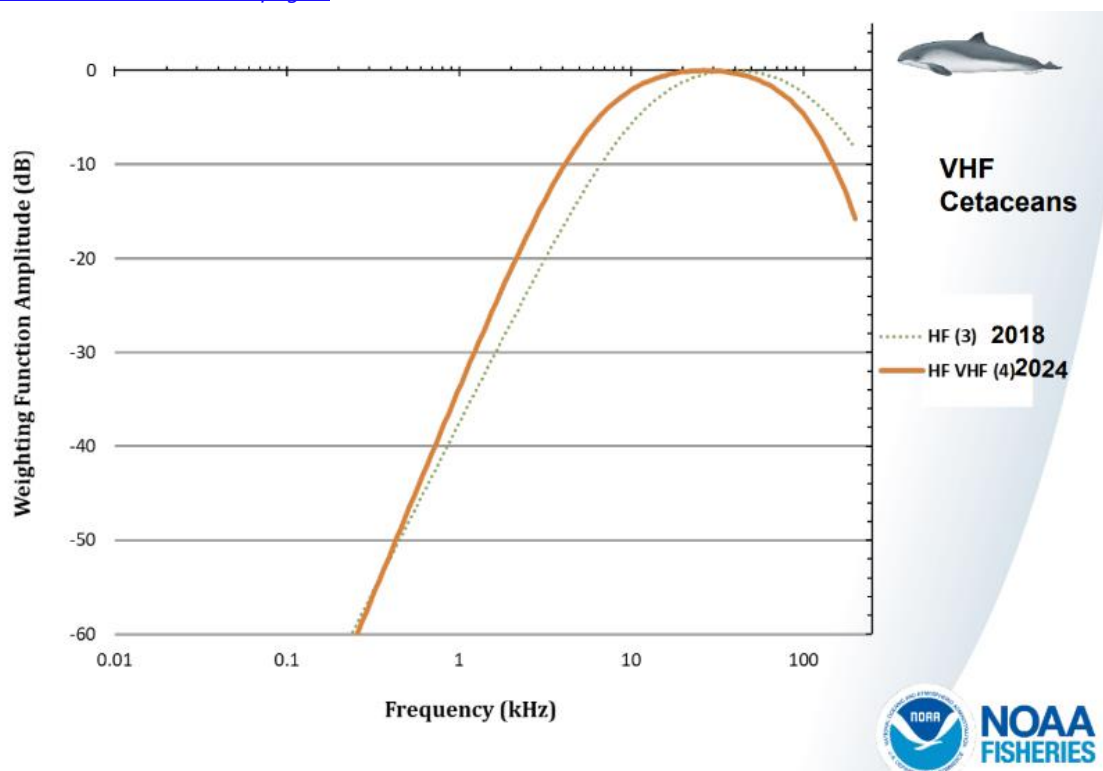
Nedenstående vægtningskurver (Figur 2.1 – Figur 2.4), viser ændringer for de enkelte høregrupper fra NMFS 2018 vejledning til 2024 vejledningen for de forskellige høregrupper af havpattedyr. Det skal bemærkes, at der for lavfrekvente hvaler (LF) endnu ikke foreligger nye data (dog er yderligere data under indsamling, som forventes integreret i den næste revision af NMFS' vejledning), så ændringen i vægtningskurven er alene baseret på ændringer i beregningsmetoden af vægtningskurven.



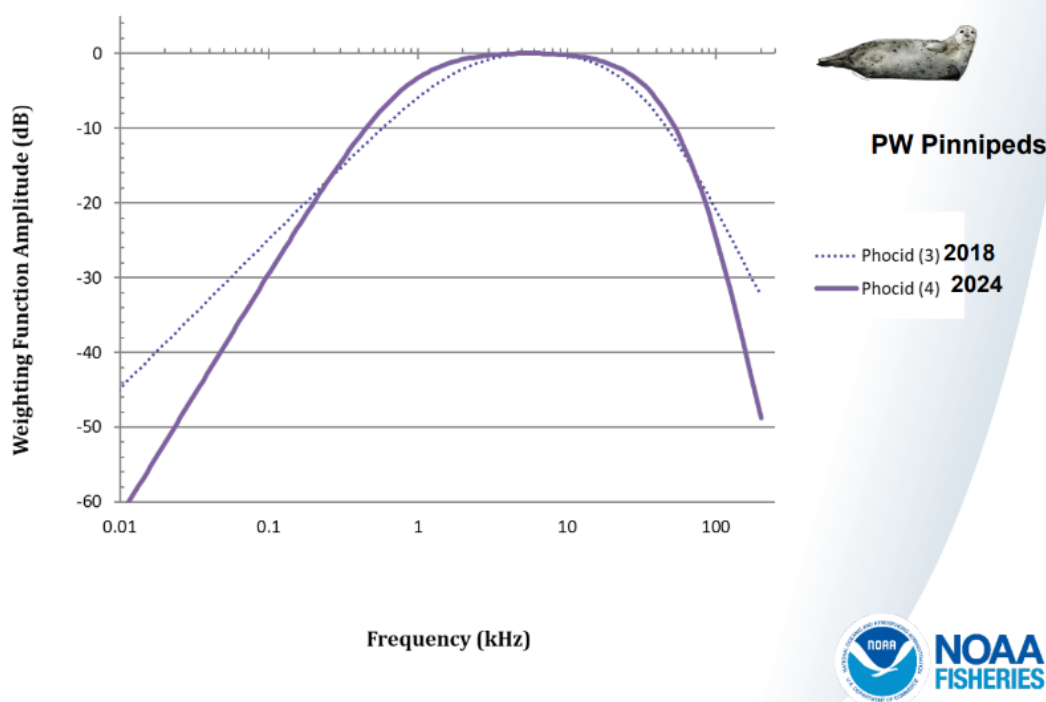
Figur 2.1: Vægtningskurver for LF cetaceans i NMFS-vejledningen fra 2018 og fra 2024. Kilde: [2024 Updated Technical Guidance Overview \(PDF, 16 pages\)](#).



Figur 2.2: Vægtningsskurver for HF cetaceans i NMFS-vejledningen fra 2018 og fra 2024. Kilde: [2024 Updated Technical Guidance Overview \(PDF, 16 pages\)](#).



Figur 2.3: Vægtningsskurver for VHF cetaceans i NMFS-vejledningen fra 2018 og fra 2024. Kilde: [2024 Updated Technical Guidance Overview \(PDF, 16 pages\)](#).



Figur 2.4 Vægtningsskurver for PW pinnipeds i NMFS-vejledningen fra 2018 og fra 2024. Kilde: : [2024 Updated Technical Guidance Overview \(PDF, 16 pages\)](#).

3. anbefaling

På baggrund af den ovenstående gennemgang af de seneste opdateringer i NMFS 2024-vejledningen vurderes det at være både relevant og nødvendigt, at de relevante danske vejledninger for undervandsstøj, herunder bl.a. vejledning om pæleramning, revideres. Det anbefales derfor, at tærskelværdier, vægtningsfunktioner og vægtningskurver tilpasses i overensstemmelse med de nye internationale standarder. De opdaterede værdier og funktioner bygger på et bredere og mere solidt empirisk grundlag end tidligere, idet der nu indgår resultater fra nyere studier, som blandt andet omfatter arter med stor forekomst i danske farvande, såsom marsvin og spættede sæler. Dette øger relevansen og præcisionen af de vurderinger, der foretages i dansk kontekst, da de nye data giver et mere solidt billede af, hvordan netop disse arter påvirkes af undervandsstøj.

Desuden foreslås det, at man fremover anvender AUD INJ (Auditory Injury) i stedet for PTS (Permanent Threshold Shift) til at vurdere skadelig påvirkning af havpattedyrs hørelse. Overgangen til AUD INJ tager i højere grad udgangspunkt i de reelle fysiologiske skader på dyrenes hørelse og er ikke kun begrænset til PTS.

4. Referencer

- Energistyrelsen. (2024). Guideline for underwater noise. Installation of impact or vibratory driven piles.
- Kujawa, S., & Liberman, M. (2009). Adding insult to injury: cochlear nerve degeneration after "temporary" noise-induced hearing loss. *Journal of Neuroscience* 29, 14077-14085.
- National Marine Fisheries Service. (2024). Update to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 3.0): Underwater and In-Air Criteria for Onset of Auditory Injury and Temporary Threshold Shifts. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum MNFS-OPR-71, 188 p.
- National Marine Fisheries Service. (2018). Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p.
- National Marine Fisheries Service. (2024a). Updated Technical Guidance Overview (PDF, 16 pages).
- Southall, B., Finneran, J., Reichmuth, C., Nachtigall, P., Ketten, D., Bowles, A., . . . Tyack, P. (2019). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals* 2019, 45(2), 125-232, DOI 10.1578/AM.45.2.2019.125.