

Slutrapport för EU projektet JOMOPANS

Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea

MATHIAS H ANDERSSON, EMILIA LALANDER,
MARKUS LINNÉ, MIKAEL SVEDENDAHL, MARTIN ÖSTBERG



Mathias H Andersson, Emilia Lalander, Markus
Linné, Mikael Svedendahl, Martin Östberg

Slutrapport för EU projektet JOMOPANS

Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea

Titel	Slutrapport för EU projektet JOMOPANS – Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea
Title	End-report for the EU project JOMOPANS - Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea
Rapportnr	FOI-R--5411--SE
Månad	Februari
Utgivningsår	2023
Antal sidor	30
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare	EU, Havs- och Vattenmyndigheten och Trafikverket
Forskningsområde	Undervattensforskning
FoT-område	Undervattens teknik
Projektnr	B683011
Godkänd av	Lars Höstbeck
Ansvarig avdelning	Försvarteknik

Bild: Morgan Larsson

Andersson, M.H., Lalander, E., Linné, M., Svedendahl, M., Östberg, M. (2022). Slutrapport för EU projektet JOMOPANS – Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea. FOI rapport FOI-R--5411--SE, Stockholm, Sweden.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskomst.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Denna rapport har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten (dnr 1916-17). Författarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten. Denna rapport innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida

Sammanfattning

Nordsjön är ett av de mest nyttjade haven i världen när det gäller sjöfart, fiske och havsbaserade industrier, men är också en viktig livsmiljö för många marina arter. Dessa arter kan påverkas negativt av mänskliga aktiviteter och en av påverkansfaktorerna är undervattensbuller från kommersiella fartyg. Det finns ett stort kunskapsbehov om nivån av detta buller i havet och dess påverkan marina djur. EU projektet Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS) pågick under 2018-2022 och syftade till att utveckla ett ramverk för ett operativt, standardiserat och koordinerat övervakningsprogram för kontinuerligt buller i Nordsjön. Projektet genomförde mätningar vid 18 platser i Nordsjön, samt numeriska modelleringar vilka resulterade i en stor mängd högkvalitativa ljudkartor över Nordsjön. Dessa hanteras i ett utvecklat webbaserat-verktyg där ett specifikt område kan analyseras för att bedöma miljöbelastningen av kontinuerligt buller. Mätdata användes både till att testa och validera de numeriska modellresultaten samt att identifiera ljudkällor som finns lokalt och att bygga erfarenheter om hur ett långsiktigt övervakningsprogram kan koordineras. Rapporten syftar till att ge forskare, myndigheter, sjöfartsindustrin och allmänheten en översiktlig beskrivning av resultaten som har tagits fram inom projektet samt en fördjupning kring arbetet som har utförts nationellt av Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI).

Nyckelord: undervattensbuller, fartyg, marina djur, hydrofon, ljudkartor, EU projekt.

Summary

The North Sea is one of the busiest oceans in the world in terms of shipping, fishing and sea-based industries, but is also an important habitat for many marine species. These species can be negatively affected by human activities, i.e. noise from commercial ships. There is a need for knowledge about the level of this noise in the sea and how it can affect marine animals. The EU project Joint Monitoring Program for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS) ran during 2018-2022, and aimed to develop an operational, standardized and coordinated monitoring program for continuous noise in the North Sea. The project carried out measurements at 18 locations in the North Sea, and numerical modelling, which resulted in a large amount of high-quality sound maps of the North Sea, and a web-based-tool for environmental impact analysis. The measurement data were used to test and validate the numerical model results, identify noise sources, and to build experience on how a monitoring program can be coordinated. This report give researchers, authorities, the shipping industry and the public an overview of the results produced within the project and a description of the work carried out nationally by the Swedish Defence Research Institute (FOI).

Keywords: underwater noise, ships, marine animals, hydrophone, soundscape maps, EU project.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	7
1.1	Projektets syfte och mål	8
1.2	Tidsplan och finansiering	8
1.3	Projektkonsortium och arbetspaket	9
1.3.1	Konsortium	9
1.3.2	Arbetspaket	9
1.4	Syfte med denna rapport	10
2	Mätning av undervattensbuller	11
2.1	Standardisering	11
2.1.1	Terminologi	11
2.1.2	Standardprocedur för kalibrering och mätning	11
2.1.3	Standard för databearbetning och analys	12
2.2	Mätning av buller i Nordsjön	13
2.2.1.1	Mätresultat	14
2.3	Vingastationen	15
2.3.1	Fartygstrafik	16
2.3.2	Bakgrundsljudnivån vid Vinga	17
2.3.3	Utstrålat buller från enskilda fartyg	20
3	Ljudkartor, validering och excess	22
3.1	Modellering och produktion av ljudkartor	22
3.1.1	Källmodell för fartyg	22
3.1.2	Modellverifiering och validering	23
3.1.3	Ljudkartor	24
3.1.4	Excess och dominans	24
3.2	Webbaserat verktyg	25
4	Kommunikation	26
4.1	Policy Advisory Board	26
4.2	Projektmöten	26
4.3	Vetenskapliga möten, workshops och publikationer	27
4.4	Hemsida och nyhetsbrev	27
4.5	Implementations plan och slutrapport	27
5	Slutsatser	28
6	Referenser	29

1 Bakgrund

Nordsjön är ett av de mest trafikerade haven i världen när det gäller sjöfart, fiske och havsbaserade industrier (olja och gas, förnybar energi, etc.) och är en avgörande tillgång för länderna kring Nordsjön genom att skapa ekonomiska värden och sysselsättning. Ökad förståelse för havets ekonomiska potential innebär dessutom att fler mänskliga aktiviteter kommer att äga rum till havs i framtiden. Nordsjön är samtidigt en viktig livsmiljö för många marina arter och därför riskerar många växter och djur att påverkas negativt av alla dessa mänskliga aktiviteter.

Det är känt att kommersiella fartyg är en av de enskilt största källorna till undervattensbuller i havet och att detta buller kan ha en negativ påverkan på havsmiljön (Duarte *m.fl.*, 2021). Sjöfarten står inför en stor utmaning att hantera och eventuellt förebygga denna miljöpåverkan vilket har uppmärksamats av International Maritime Organization (IMO) som just nu uppdaterar sina befintliga rekommendationer om hur bullret kan minskas (IMO MEPC, 2013). Undervattensbuller och dess potentiella miljöpåverkan på marint liv började uppmärksammas på bred front efter att EU:s Havsmiljödirektiv antogs 2010, med en uppdatering 2017 (EU, 2017). I Sverige har havsmiljödirektivet antagits som svensk lag genom Havsmiljöförordningen (2010:1341). Havsmiljöförordningen innefattar den kvalitativa deskriptorn 11 *Tillförsel av energi, inbegripet undervattensbuller, ligger på nivåer som inte påverkar den marina miljön på ett negativt sätt*. Det primära kriteriet för indikator två i deskriptorn 11 (D11C2) är relaterad till fartygsbuller och lyder:

- Den rumsliga fördelningen, den tidsmässiga varaktigheten och ljudstyrka av kontinuerligt lågfrekvent ljud från mänsklig verksamhet överskrider inte nivåer som negativt påverkar populationer av marina djur.
- Måttenheten är årsmedelvärde för kontinuerlig ljudnivå per ytenhet. Procentandel eller omfattning i kvadratkilometer (km²) av bedömningsområdet med ljudnivåer som överskrider tröskelvärden.

EUs expertgrupp TG Noise (Technical Group Noise) har publicerat rapporter om hur denna text ska tolkas och hur buller kan mätas (Dekeling *m.fl.*, 2014). Nyligen har även ett ramverk tagits fram för hur man ska beräkna om det är för mycket buller i ett område som kan leda till negativa konsekvenser för populationer av marina djur (Sigray *m.fl.*, 2021; Borsani *m.fl.*, 2022).

Undervattensbuller tas även upp i deskriptor 1 *Biologisk mångfald* när det gäller fysisk störning på marina djur. Havsmiljödirektivet belyser vikten av regional samordning för att utvärdera de olika hoten mot miljön och de regionala havskonventionerna tas upp som en viktig plattform för koordination av övervakningsprogram och åtgärder.

För att veta om undervattensbullret från fartyg och andra kontinuerliga ljudkällor i havet är på en sådan nivå att den är skadligt för marina djur behövs ett övervakningsprogram. Nationellt har Sverige haft igång ett övervakningsprogram för kontinuerligt undervattensbuller sedan 2015, vilket är koordinerat till viss del inom HELCOM (The Baltic Marine Environment Protection Commission) för Östersjöregionen (Lalander och Andersson, 2017). Nordsjöregionen har inte kommit lika långt, men redan 2015 betonades det från OSPAR (The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic) att nordöstra Atlanten behöver ett samordnat övervakningsprogram för undervattensbuller för att ta fram nödvändig information inför Quality Status Report 2023. För svensk del är det OSPAR region II, dvs. Nordsjön, som är relevant och Sverige behöver även data på kontinuerligt undervattensbuller för sin rapportering enligt havsmiljödirektivet.

Att samarbeta med närliggande länder är extra viktigt när det gäller undervattensbuller då både ljudkällor, fartyg, och dess utstrålade buller sprids över nationsgränser. Att arbeta tillsammans gör dessutom övervakningen mer kostnadseffektivt. Detta demonstrerades bland annat i EU LIFE projektet Baltic Sea Information on the Acoustic Soundscape (BIAS) som pågick under 2012-2016 och leddes av FOI (Nikolopoulos *m.fl.*, 2016).

Under 2016 och 2017 arbetade en grupp forskare fram ett projektförslag där länderna kring Nordsjön samarbetar och tar fram ett koordinerat och standardiserat övervakningsprogram för kontinuerligt buller samt en metod för hur man kan kvantifiera miljöbelastningen. Detta projektförslag mynnade ut i projektet Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS). Projektets utformning och huvudfrågeställningar är anpassade för att svara på frågor som är kopplade till de utmaningar som nationella myndigheter har genom Havsmiljöförordningen, samt är kopplade till det nationella miljömålet ”Hav i balans samt levande kust och skärgård”. Resultat och erfarenheter från BIAS kom även att ligga till grund för det nya projektet, inte minst hur projektets leveranser ska kunna komma till nytta och införlivas i regionala havskonventioners arbete.

1.1 Projektets syfte och mål

Syftet med JOMOPANS var att utveckla ett ramverk för ett operativt, standardiserat och koordinerat övervakningsprogram för kontinuerligt buller i Nordsjön. För att nå detta mål behövde mät- och modelleringsmetoder standardiseras så att data kunde jämföras mellan länder och slutligen resultera i en gemensam ljudkarta över hela Nordsjön. Idag saknas dock internationella standarder för hur man ska mäta, analysera och presentera data för kontinuerligt undervattenbuller. Mätningar och modellering är två kompletterande metoder för att bedöma miljötillståndet. Mätning ger en hög tidsupplösning för området lokalt runt mätstationen, men blir oftast begränsat till ett fåtal punkter på grund av ekonomi. Allt undervattensbuller runt mätstationen spelas in vilket kan göra det svårt att beräkna storleken av individuella bidragande ljudkällor (Larsson Nordström *m.fl.*, 2022). Modeller för undervattensbuller används för att ge en regional bild över hela analysområdet för de ljudkällor som inkluderas i modellen, idag främst fartygsbuller och vindbrus. Modellens kvalitet utvärderas med hjälp av de mätningar som har gjorts.

Slutprodukten ämnade vara högkvalitativa ljudkartor som kan hanteras i ett webbaserat verktyg där specifika områden kan analyseras för att bedöma miljöbelastningen av kontinuerligt buller på djurlivet i havet.

1.2 Tidsplan och finansiering

Projektet startade 1 januari 2018 med ett planerat avslut 31 december 2020. Projektet förlängdes i ett första steg till 30 juni 2021 för att arbete inom ett antal av arbetspaketen skulle hinna avslutas innan slutkonferensen. Den utökade tidsplanen kunde hanteras inom den ursprungliga finansieringen. Under våren 2021 pågick ett parallellt arbete inom OSPAR där expertgruppen ICG Noise (Intersessional Correspondence Group on Underwater Noise) skulle ta över koordineringen av övervakningen av kontinuerligt buller för Nordsjön efter att projektet tagit slut. Tyvärr försenades detta arbetet vilket gjorde att projektteamet bakom JOMOPANS ansökte om en ettårig förlängning, inkluderande nya pengar, vilket också godkändes av finansörerna. Detta för att överbrygga tiden mellan projektet och när OSPAR kommer igång med ett regionalt koordinerat övervakningsprogram i Nordsjön, så att datainsamling kunde fortgå och fler ljudkartor produceras.

JOMOPANS totala budget, inkl. ett-årsförlängningen har uppgår till ca 4 160 000 Euro. Svensk del i projektet, där FOI varit enda nationella deltagande uppgår till ca 520 000 Euro. Detta har finansierats med 50 % från Interreg Nordsjön och 25 % vardera från Havs- och vattenmyndighetens havs- och vattenmiljöanslag 1.11 och Trafikverkets Sjöfartspportfölj, för målområde 2 – Uthålliga maritima transporter.

1.3 Projektkonsortium och arbetspaket

1.3.1 Konsortium

I projektet har det varit elva konsortium partners från åtta länder kring Nordsjön (figur 1). Rijkswaterstaat från Nederländerna har varit koordinator. Alla partner och dess nationalitet listas nedan.

	Rijkswaterstaat (RWS) – NL
	Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science (Cefas) – UK
	Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) – DE
	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO) – NL
	Aarhus University (AU) – DK
	Swedish Defence Research Agency (FOI) – SE
	Royal Belgian Institute for Natural Sciences (RBINS) – BE
	Marine Scotland (MS) – UK
	Norwegian Defence Research Establishment (FFI) – NO
	National Physical Laboratory (NPL) – UK
	Institute of Marine Research (IMR) – NO



Figur 1. Översikt av Nordsjöregionen (grönt) som projektet hanterar och de elva konsortium medlemmarna. Svarta fyrkanter visar på medlemmarnas geografiska plats. Röda cirklar visar på de planerade mätpositioner som initialt togs fram för att spela in bakgrunds ljud i havet.

1.3.2 Arbetspaket

Projektet var indelat i sju arbetspaket (WP) som kompletterar varandra och nedan finns en kortfattad beskrivning om målet med varje arbetspaket, samt vilken organisation som ledde de olika arbetspaketen inom parantes.

WP1 Project management (Rijkswaterstaat) koordinerade övriga arbetspaket så att projektets mål nåddes, samt informerade intressenter och finansiären Interreg om projektets arbete.

WP2 Communication (FOI) främjade informationsutbytet mellan detta och andra projekt, både avslutade och nystartade, liksom andra berörda parter för att få till en europeisk harmonisering. Vidare ansvarade detta arbetspaket för att koordinera projektets interna och externa kommunikation, även om den faktiska kommunikationen genomfördes av projektmedlemmarna själva.

WP3 Standardization (NPL) utvecklade en regional standard för mätning och modellering av undervattensbuller då ISO standarder saknas för kontinuerligt undervattensbuller.

WP4 Modelling (TNO) utförde modellering av ljudnivån i Nordsjön som jämförelse till mätningar och skapade ljudkartor för hela Nordsjön.

WP5 Measurements (BSH) koordinerade det regionala övervakningsprogrammet för undervattensbuller, inkl. datahantering, och gav input till modelleringen om bullernivån vid ett antal mätpositioner.

WP6 Combination modelling and measurements (Cefas) kombinerade mätningar med modellering av ljudnivån och utvärderade jämförbarheten mellan dessa två datalager.

WP7 GES management tools (AU) utvecklade ett webbaserat verktyg för att hantera alla ljudkartor och för att kunna utvärdera miljöeffekterna av undervattensbuller.

1.4 Syfte med denna rapport

Ett flerårigt projekt likt JOMOPANS genererar en mycket stor mängd resultat som redovisas löpande på projektmöten, i projektrapporter, på vetenskapliga konferenser och i vetenskapliga artiklar. Denna rapport syftar till att ge forskare, myndigheter, sjöfartsindustrin och allmänheten en översiktlig beskrivning av dessa resultat i stort, men med hänvisningar till publicerade rapporter och artiklar för djupare läsning. Vidare görs en viss fördjupning kring det arbetet som utförts nationellt av FOI. Alla resultat från projektet finns på projektets hemsida (<https://northsearegion.eu/Jomopans/>) som kommer ligga uppe i minst fem år från och med projektavslut och kan även efterfrågas från författarna av denna rapport.

2 Mätning av undervattensbuller

Mätningar av ljud i havet var en av de centrala och mest kostsamma delarna i projektet. Mätningar ger en tidsmässigt högupplöst bild av den lokala ljudnivån vid mätpositionerna och vilka olika typer av ljudkällor som finns lokalt. Mätdata behövdes även för validering av ljudkartornas beräknade ljudnivåer. I ett tidigt skede av projektet genomfördes ett arbete om vilket akustiskt mått (enhet) som projektet skulle använda sig av kopplat till ljudmätningar och modeller, se Merchant, Farcas och Powell (2018). Det akustiska mått som projektet beslutade använda var ljudtrycksnivån (eng. sound pressure level, SPL), uppmätt i decibel relativt 1 mikropascal (dB re 1 μ Pa). Den modellerade och uppmätta ljudnivån kunde sedan användas i en utvärdering om huruvida ljudnivån, till följd av fartygsbuller, kan innebära en negativ miljöpåverkan på marina organismer i Nordsjön.

Detta kapitel beskriver hur projektet har arbetat med standardisering, mätmetoder och mätningar, med en fördjupning kring den hydrofonstation som konstruerades av FOI och sjösattes väster om ön Vinga på den svenska västkusten. Totalt använde hela projektet data från 18 mätpositioner i Nordsjöregionen.

2.1 Standardisering

För att data skulle bli jämförbara från de olika mätstationerna behövde en standardisering av alltifrån terminologi, kalibrering-, mät- och analysmetoder genomföras. Projektet producerade tre rapporter som tar upp dessa ämnen och beskrivs nedan. Ett utkast av dessa rapporter skrevs redan under 2018 för att kunna användas under projektiden men uppdaterades sedan löpande med erfarenheter från projektet och slutfördes under 2021.

2.1.1 Terminologi

Projektet har tagit fram en rapport om vilken terminologi som projektet ska använda sig av (Robinson och Wang, 2021). Denna rapport har utgått från ISO 18405 (ISO 18405:2017, 2017) och projektet ADEONs (The Atlantic Deepwater Ecosystem Observatory Network) rekommendationer från USA och definierar grundläggande kvantiteter och mått.

2.1.2 Standardprocedur för kalibrering och mätning

För att kunna dra korrekta slutsatser om den undersökta ljudmiljön och för att kunna kvalitetssäkra de producerade ljudkartorna behövde mätutrustningen uppfylla vissa prestandakrav och en tillräcklig mängd data behövde spelas in. Detta och mer därtill beskrivs i rapporten Robinson *m.fl.* (2021). Rapporten listar många detaljer för lägsta prestandanivå för utrustningen som användes, som dynamiskt omfång, förstärkare, hydrofonkänslighet och samplingshastighet. Inom JOMOPANS-projektet har en stor variation av mätsystem som uppfyllt prestandakraven kunnat tillåtas, alltifrån batteridrivna system från olika tillverkare till kabelanslutna system, till skillnad från i BIAS-projektet där alla använde sig i stort sett av samma typ av hydrofonsystem (Verfuß *m.fl.*, 2015).

För att säkerställa att beräknad SPL är korrekt behövde hydrofonsystemen kalibreras. Detta bör göras direkt efter att ett system köpts in och sedan regelbundet under systemens livstid för att upptäcka avvikelser. I januari 2020 genomfördes en kalibreringsworkshop hos NPL. Innan workshoppen kalibrerade alla partners minst ett eget instrument som sedan skickades till NPL för referenskalibrering. Denna referenskalibrering jämfördes sedan under workshopen med den kalibrering som gjorts av respektive partner. Resultaten visade att det skilde <2 dB mellan kalibreringarna vilket ansågs godtagbart inom projektet.

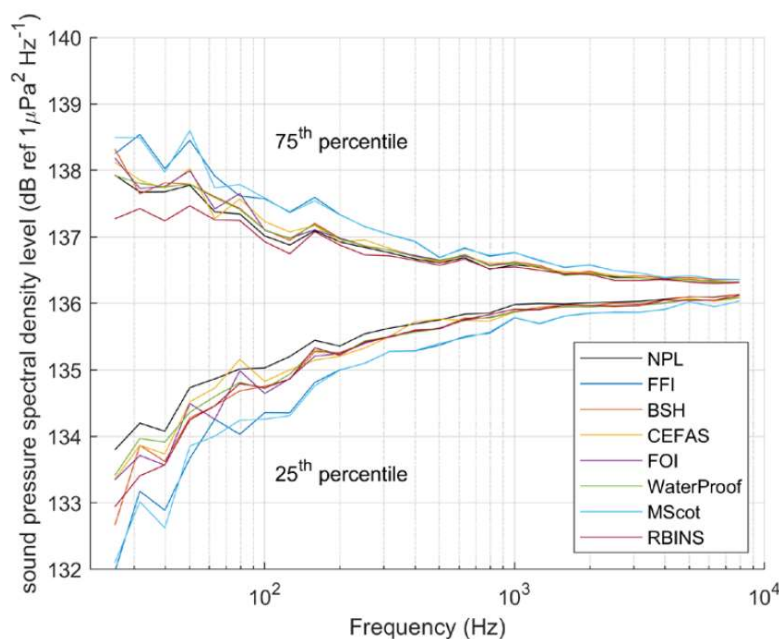
Robinson *m.fl.* (2021) innehåller även beskrivningar för hur hydrofonsystem ska hängas upp i en rigg för att minska akustiska störningar från rep och bojar vilket gäller både batteridrivna och kabelanslutna hydrofonsystem. Det är önskvärt att det ljud som spelas in enbart ska komma från omgivningen och inte från riggen.

2.1.3 Standard för databearbetning och analys

Inspelad akustisk data behöver kvalitetstestas och analyseras på samma sätt för att resultaten ska bli jämförbara och dessa riktlinjer presenteras i Ward *et al.* (2021). Med kvalitets-testning menas bland annat att kontrollera att datafiler inte är korrupta, samt att data inte är kontaminerat av t.ex. flödesbrus. Dessutom behöver datatäckningen kontrolleras så att mängden inspelade data stämmer överens med planerad inspelning. Framförallt batteri-drivna hydrofonsystem kan få luckor i dataserien när batterispänningen gått under en kritisk nivå. Data får inte heller vara mättad, vilket kan ske om hydrofonsystemets känslighet varit satt för lågt i jämförelse med de ljudnivåer som förekommit på mätplatsen. Detta kan ske om fartyg har passerat på mycket nära håll eller om några högljudda konstruktionsarbeten har skett i närområdet.

Inom JOMOPANS valdes ljudtrycksnivån (SPL) som det akustiska mått som används för analyser. Ljudtrycksnivån definieras som det genomsnittliga kvadratiske ljudtrycket beräknat över ett specificerat tidsintervall och uttryckt som en nivå i decibel i förhållande till ett referensljudtrycksvärde på 1 μPa (Merchant, Farcas och Powell, 2018).

Likt för kalibreringen gjordes ett gemensamt arbete, kallat för benchmarkingprocessen, inom WP5 där alla deltagare fick ett par ljudfiler att analysera enligt JOMOPANS standard. Resultaten jämfördes och visade på något avvikande resultat (figur 2). Efter en diskussion och justering hos vissa partners kunde man tillslut få samstämmiga resultat. En slutgiltig version av standarden publicerades i slutet av projektet där erfarenheter från hela projektet hade tagits in.



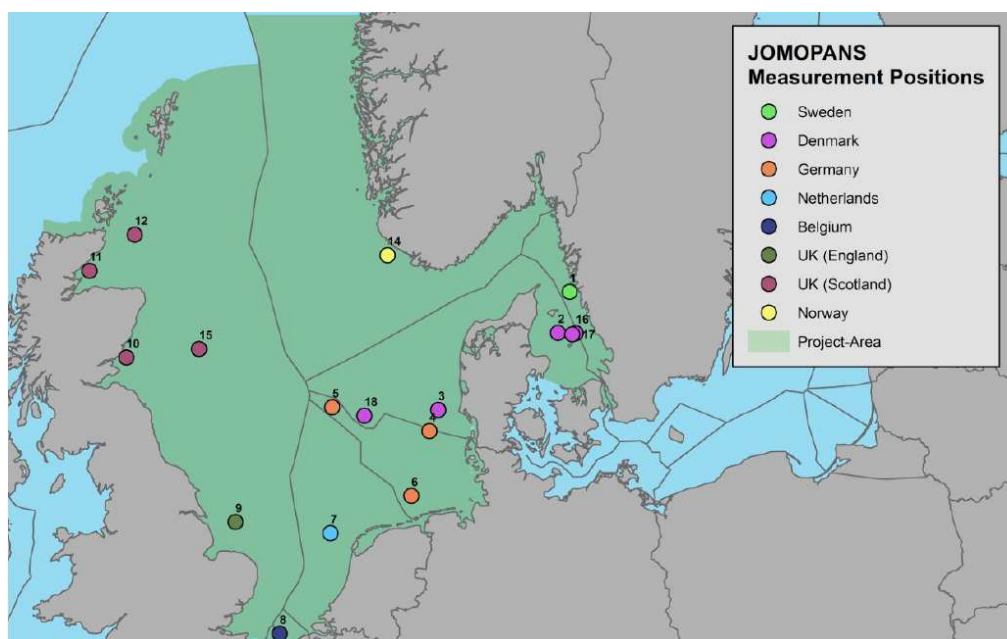
Figur 2. Spektraltäthet av en datafil med vitt brus i en tredjedels oktavband som har rapporterats av partners som genomfört mätningar och deltog i benchmarkingprocessen (visar 25:e och 75:e percentilen). WaterProof är företaget som utför ljudmätning och analys i Nederländerna. Figuren är tagen från Ward *m.fl.* (2021).

Sammantaget har JOMOPANS standarder varit avgörande för att kunna konsolidera alla partners resultat. Framtagna standarder har även börjat användas för mätningar av kontinuerligt buller i havet som inte ingår inom JOMOPANS. Standarderna har tagits upp av ISO gruppen (ISO/AWI 7605) som nyligen har börjat sitt arbete med att ta fram en internationell standard för hur man ska mäta bakgrundsbrus i havet. Den nya ISO-standarderna är beräknad att publiceras omkring 2024.

2.2 Mätning av buller i Nordsjön

Projektet hade ett omfattande mätprogram där alla länder hade minst en mätposition i projektområdet och med målet att spela in ljud under hela 2019 och till viss del under 2020-2022. Totalt använde projekt data från 18 positioner (figur 3). Under den ett-åriga projekt-förlängningen fortsatte mätningar på ett begränsat antal positioner. Positionerna uppvisar en mycket stor variation i vattendjup (12-340 m), bottensediment, avstånd till farled och fartygsintensitet. Mätningar skulle följa de standarder som tagits fram och inspelad data kvalitetstestades och analyserades på ett standardiserat sett.

I JOMOPANS används mätdata främst för att testa och validera de numeriska modellresultaten som togs fram i WP4. Vidare användes mätdata för att identifiera ljudkällor som finns lokalt och för att bygga erfarenheter om hur ett långsiktigt övervakningsprogram kan genomföras med hög kvalitet. Att mäta ljud i havet är inte helt lätt och delade erfarenheter mellan partners hjälpte till att öka kvalitén i både mätteknik och mätdata.



Figur 3. Positioner för de faktiska stationerna för ljudmätningar i JOMOPANS-projektet. Positionerna är avbildade med färgade cirklar där färgerna representerar de olika partnerna/länderna. Det grönfärgade området indikerar projektområdet. Det bör noteras att en övervakningsstation (13-NO-LOV) inte visas på kartan. Denna station fungerar som en referensstation (mycket lite sjöfart) och ligger i norra delen av Norge och utanför den specifika projektregionen. Figuren är tagen från Fischer, Kühnel och Basan (2021).

De första mätningarna påbörjades redan under 2018, men då endast på nio platser och under ett par månader. Detta gjordes för att utvärdera om de planerade platserna var lämpliga, att de utvecklade standarderna för mätningar och analyser fungerade och för att förse WP4 med mätdata för den första verifikationen av de ljudmodeller som skulle användas i projektet.

Under 2019 genomfördes mätningar med både batteridrivna och kabelanslutna hydrofon-system. Alla system hade hydrofonen 2-3 m över havsbotten och målet var att undvika att ha hydrofonen nära bojar, rep och andra delar av riggar som kan skapa störande ljud. Fischer, Kühnel och Basan (2021) ger en mycket detaljerad beskrivning av de mätplatser och mätsystem som användes under denna mätkampanj. Om möjligt skulle partners även bidra med metadata från mätpositionerna i form av data om bottensediment, våghöjd, vindhastighet och ljudhastighetsprofil. Allt för att bättre förstå vad de uppmätta ljudnivåerna kunde bero på. Vid jämförelser mellan uppmätta och modellerade ljudnivåer är det förväntat att skillnader förekommer, men kännedom om platsspecifika egenskaper bidrar till förståelse om orsakerna. Alla stationer levererade data under inspelningsperioden men i

olika omfattning (figur 4). Vissa stationer skulle bara spela in under en begränsad tid medan andra stationers inspelning blev avbrutna efter tekniska problem. Några batteridrivna hydrofonsystem lossnade från botten och drev iväg, vilket ledde till att inspelad data inte gick att använda då platsen för inspelningen inte längre var känd. För svensk del kunde FOI leverera data för hela 2019.

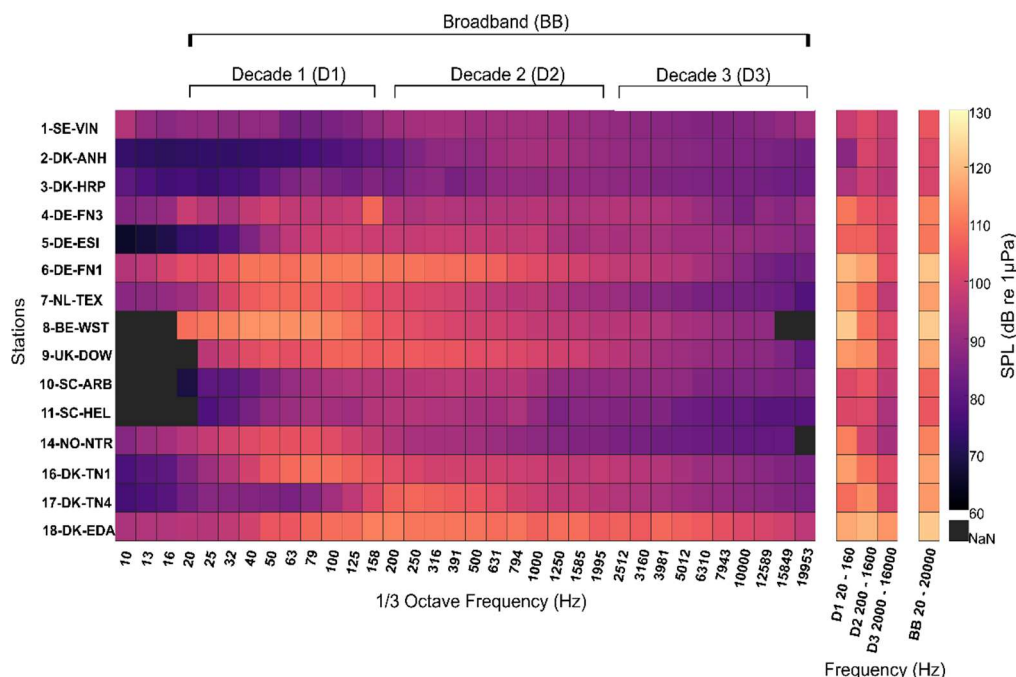
Station	2019											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sweden - Vinga												
Denmark - Anholt												
Denmark - Horns Reef												
Germany - FINO3												
Germany - ES01												
Germany - FINO1												
Netherlands - West of Texel												
Belgium - Westhinder												
England - Dowsing												
Scotland - Arbroath 10												
Scotland - Helmsdale 5												
Scotland - Moray Firth												
Norway - LoVe												
Norway - Norwegian Trench												
Scotland - Central North Sea												
Denmark - Tango Nord 1												
Denmark - Tango Nord 4												
Denmark - EDNA												

Figur 4. Översikt av månader där ljuddata finns helt eller delvis för de olika övervakningsstationerna. Figuren tagen från Fischer, Kühnel och Basan (2021).

För att dela data inom projektet satte BSH upp en FTP-server där partners kunde ladda upp kvalitetssäkrad och bearbetad data. Inga rådata delades mellan partners pga. nationella regelverk. BSH tog fram ett standardiserat dataformat som användes inom projektet. Detta dataformat matchar det format som framtagits för mätdata för den internationella databasen av kontinuerligt undervattenbuller som drivs av ICES (The International Council for the Exploration of the Sea). Mätdata i denna databas kommer från bullerövervakningen för HELCOM området. Alla JOMPANS data kommer att finnas i ICES databasen efter projektets slut. Inrapporterad data användes av både WP4 och WP6 för olika ändamål.

2.2.1.1 Mätresultat

Resultaten visar på relativt stora skillnader i SPL mellan stationerna (figur 5). Station 6, 7 och 8 har höga nivåer för lågfrekventa ljud (< 100 Hz), vilket indikerar på flödes- eller riggljud kring hydrofonen då dessa ligger i tidvattenzoner. Stationen med högst bredbandig median SPL var Belgiens station Westhinder (8) med en mediannivå (P50) på 125 dB re 1 µPa för frekvensintervallet 20-20 000 Hz. Som jämförelse ligger median SPL vid Vingastationen (1) under 2019 på ca 105 dB re 1 µPa för samma frekvensband. Stationen med lägst bredbandig median SPL var Anholt i Danmark (2) med 98 dB re 1 µPa för samma frekvensintervall. En detaljerad analys av resultaten inklusive de faktorer som påverkat de uppmätta ljudnivåerna ges i Fischer, Kühnel och Basan (2021), Putland, Farcas och Merchant (2021) samt Putland *m.fl.* (2022).



Figur 5. Uppmätt ljudtrycksnivån (SPL) P50 (median) för mätning av kontinuerligt buller under 2019 för alla JOMOPANS-stationer och olika frekvenser (1/3 oktavband och dekadbanden (D) 20-160 Hz, 200 – 1600 Hz, 2 kHz – 16 kHz samt bredbandet 20 Hz-20 kHz). Figuren är tagen från Putland, Farcas och Merchant (2021).

2.3 Vingastationen

Det största svenska arbetet i projektet var konstruktionen och driften av ett kabelanslutet hydrofonsystem. Systemet utvecklades av FOI med syfte att spela in undervattensljud i realtid i havsområdet väster om ön Vinga utanför Göteborg (figur 3), samt att kunna fjärrstyra stationen från Stockholm. Förutom att spela in det allmänna bakgrundsljudet i havet och skicka data till de andra arbetspaketen, studerade FOI även det utstrålade bullret från enskilda fartyg med syfte att studera bullernivåerna från olika fartygsklasser (se exempel i avsnitt 2.3.3). Detta arbete gjordes parallellt med ett annat pågående projekt på FOI (Lalander, Nordström och Andersson, 2021) men kunde testas på mätdata från Vinga stationen i slutskedet av JOMOPANS projektet. Försök genomfördes även med att studera ljudnivån som funktion av fartygshastighet, men detta arbete begränsades då det tidvis var tekniska problem med stationen vilket tog mycket tid i anspråk och denna fördjupade analys fick utgå. Data finns dock kvar och denna frågeställning kommer att hanteras i framtida projekt.

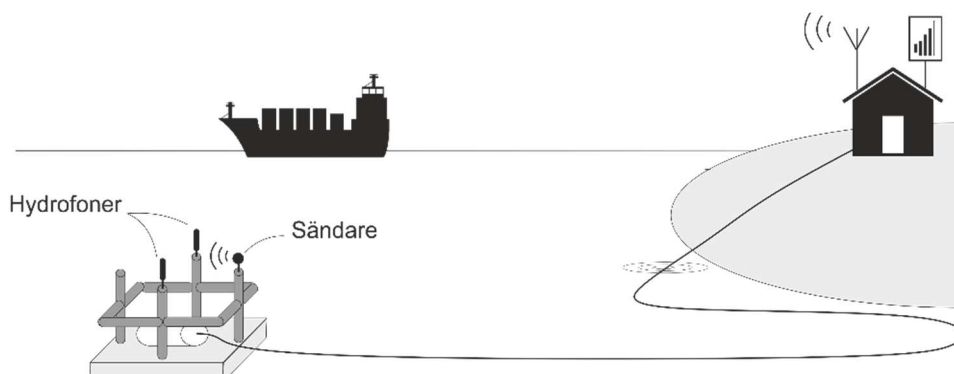
I det nationella övervakningsprogrammet som finansieras av Havs- och vattenmyndigheten och utförs idag av FOI, används batteridrivna hydrofonsystem som byts ut var sjätte månad, som t.ex. stationen vid Hönö ett par kilometer norr om Vinga. En kabelanslutet hydrofonstation har ett par fördelar jämfört med ett batteridrivet system när det gäller prestanda, kvalitet och kontroll, men är dyrare i anskaffningskostnad samt i viss mån drift. En djupare analys av skillnader, både tekniska och ekonomiska, mellan batteridrivna och kabelansluta hydrofonsystem kan läsas i Andersson, Lalander och Linné (2022).

Vingastationen utvecklades av FOI inom projektet under 2018-2021. Det var en satsning på ny teknik då Sverige idag inte har någon liknande civil hydrofonstation som kan spela in bakgrundsljud över lång tid i realtid med möjlighet till fjärrstyrning. Det finns kommersiella system att köpa in som kan klara av att generera det databehov som projektet behöver, men dessa system har ofta begränsade inställningsmöjligheter och i ett forskningsprojekt likt detta behöver man kunna testa olika konfigurationer för att optimera datainsamlingen.

Stationen består av tre huvuddelar som även illustreras i figur 6:

1. En sjöenhet som består av två hydrofoner, en sändare (för enklare fältkalibreringar), ett datainsamlingssystem och en fibernätverksswitch som skickar signalerna till land.
2. En 2 km lång kabel som kopplar ihop sjöenheten med en landenhet.
3. En landenhet som strömförsörjer sjöenheten samt tar emot, lagrar och signalbehandlar data.

En detaljerad beskrivning av systemet finns att läsa i Andersson, Lalander och Linné (2022). Systemet sjösattes i maj 2019 och fungerade i huvudsak väl (det förekom vissa elektroniska störningar) fram tills det togs upp i februari 2020. Under 2020 gjordes en hårdvaruuppggradering, och inköp av ny kabel då den gamla kabeln skadats av okänd part, och systemet sjösattes igen i november 2021. Stationen slutade att fungera i mars 2022 och när systemet togs upp i juni 2022 visade det sig att det blivit skador på sjöenheten och kabeln pga. vattenläckage. Detta innebär att sjöenheten behöver återuppbyggas och en ny kabel införskaffas för att få stationen funktionsduglig igen. Inför en sjösättning av ett framtida system är det rekommenderat att en grövre kabel anskaffas och att man utvärderar om Vinga-området är den mest lämpliga platsen utifrån de forskningsfrågor som ska besvaras av ett framtida system. Området runt Vinga har en kuperad bottenpografi och det förekommer relativt mycket fiskeverksamhet vilket medför en ökad risk för skador på sjöenheten och kabeln som sammanbinder denna med landstationen.

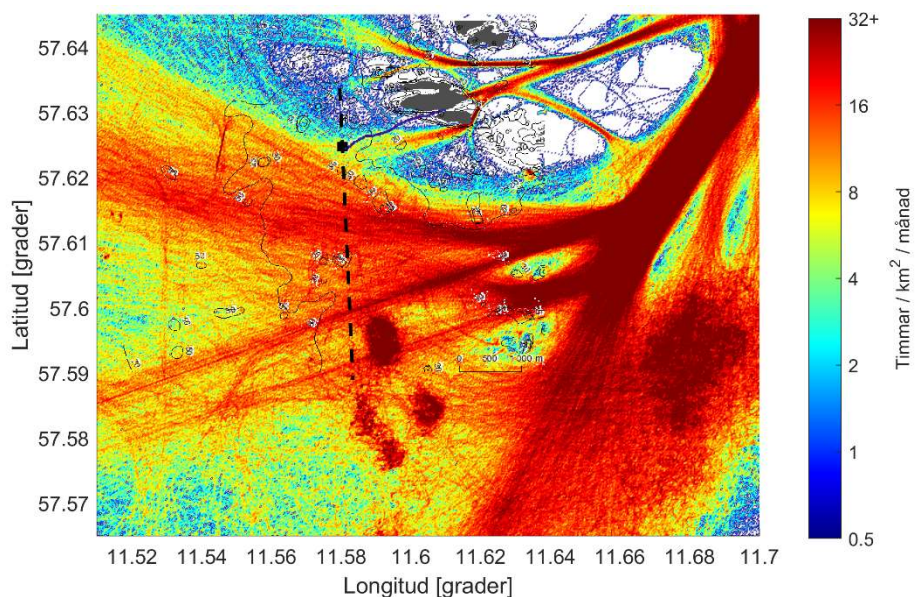


Figur 6. Skiss av Vingastationens olika delar. Sjöenheten version 2 (nedre vänstra hörnet i figuren), med den nya ramen, ligger på havets botten på ca 46 m djup. Hydrofon och sändare sitter ca 1,5 m över botten. Sjöenheten är sammanlänkad med landstationen med en 2 km lång fiberoptisk hybridkabel. Landstationen har både radiomottagare för AIS-kommunikation samt en trådlös uppkoppling via mobilt datanät. Figuren är tagen från Andersson, Lalander och Linné (2022).

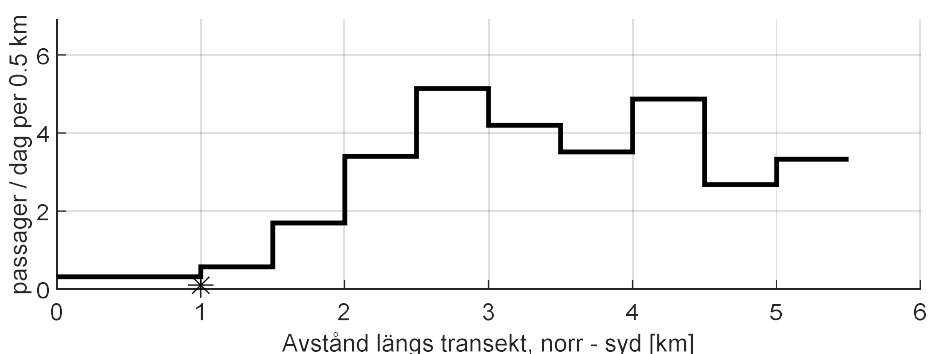
2.3.1 Fartygstrafik

Vingastationen ligger 2 km utanför Vinga och många fartyg passerade rakt över stationen eller inom 1 km radie. Den närmaste stora farleden ligger 3-4 km bort och i denna farled färdas fartyg till och från Göteborgs hamn (figur 7). Vidare är det ca 3 km till ett område där många fartyg ankrar för att invänta inkörning till Göteborgs hamn (ses som en röd oval i figur 7 söder om stationen). Här ligger fartyg stilla men kan ändå bullra då de sällan stänger av huvudmaskinen.

Antalet passager förbi Vingastationen har beräknats över en vald transektlinje (svart streckad linje i figur 7). Varje dag passerade ca 30 fartyg i närheten av Vingastationen (figur 8). Trafiken var inte jämn över dagen utan många fartyg körde ut på morgonen, t.ex. Stena Line-färjorna till Danmark, och in på kvällen.



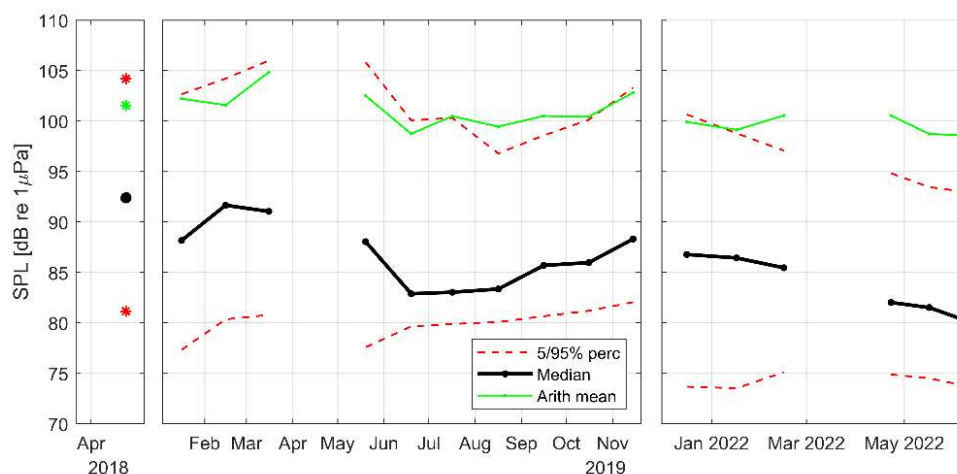
Figur 7. Fartygsdensitet i medel per månad från november 2021 till juni 2022. Positionen för Vingastationen är markerad med en svart punkt med en anslutande mörkblå linje som visar fiberkabels dragning till land. Svart streckad linje visar den valda transekten över vilken statistik i figur 8 har beräknats.



Figur 8. Medel över antal dagliga passager från november 2021 till juni 2022 per 0,5 kilometer längs transekten i figur 7. Vingastationen är markerad med en stjärna. Antalet fartyg totalt över hela transekten var i medel 30 per dag. Dessa fartygs buller kan detekteras i hydrofondata.

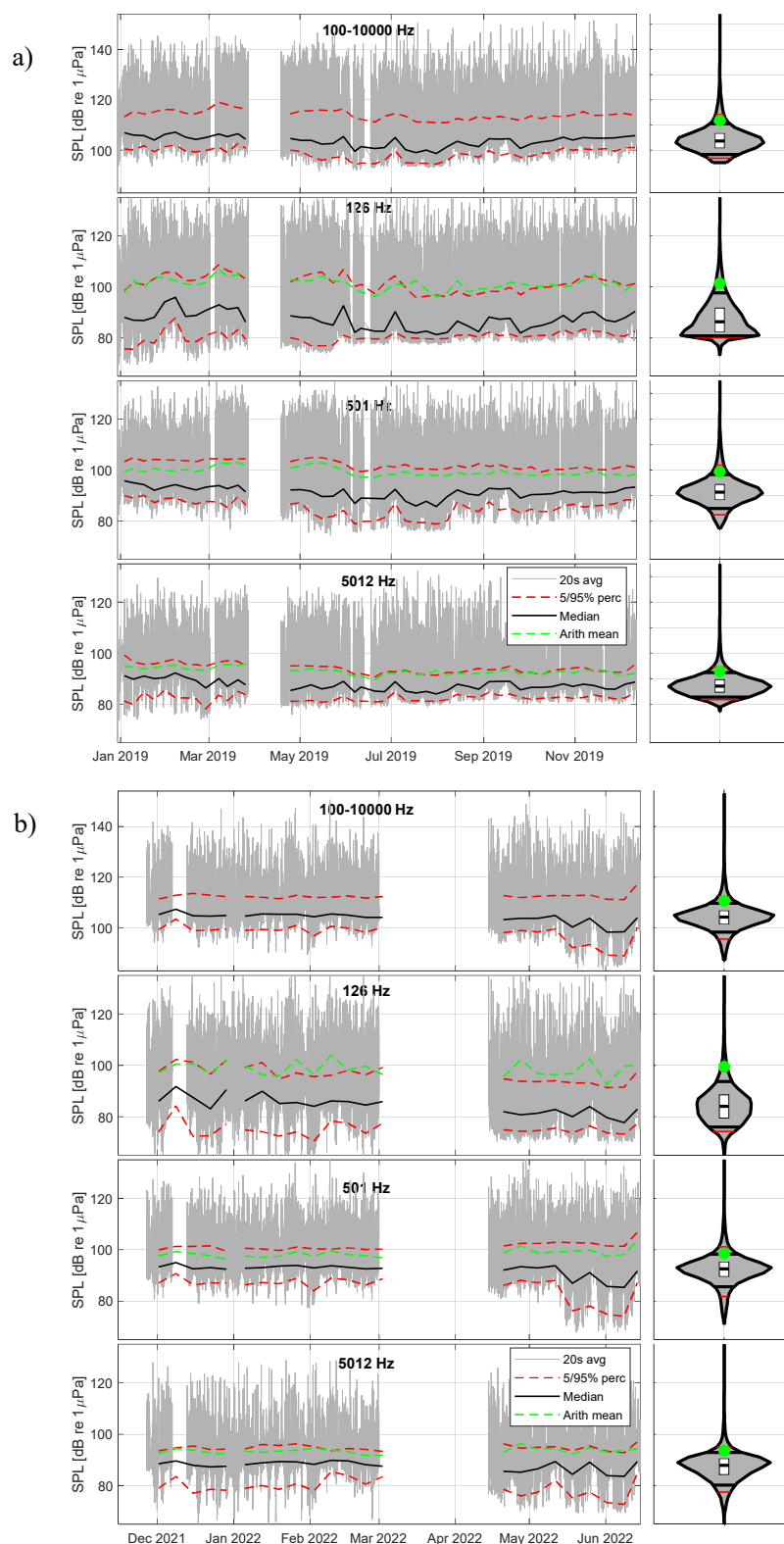
2.3.2 Bakgrundsljudnivån vid Vinga

Från 1 januari till 23 maj 2019, dvs. innan den kabelanslutna Vinga stationen sjösattes i maj 2019, användes batteridrivna hydrofonsystem för att mäta bakgrundsnivåerna på platsen. De olika egenskaperna hos systemen, samt att yttre faktorer påverkar system olika, gör att bakgrundsnivåerna skiljer sig vid vissa frekvenser. Det gäller främst frekvenser under 100 Hz och över 5 kHz. Första versionen av den kabelanslutna Vinga-stationen hade dessutom vissa elektriska störningar. För att få bort dessa krävdes en kraftig filtrering av rådata. Detta påverkade frekvenser mellan 80 och 300 Hz och gör att beräknade nivåer under perioden juni till december 2019 är något lägre än övriga perioder (figur 9). Hur mycket lägre är dock svårt att säga eftersom ljudnivåerna också påverkades av ljudutbredningsförhållandena i vattnet. Under vår-vintern var temperaturen lägre vid ytan än djupare ned vilket medför att ljudet spreds längre. Ljudnivåerna gick då upp vid framförallt låga frekvenser, där fartygsbuller har mest energi. Under sommaren blev ytvattnet varmare och ljud böjdes av mot botten vilket medför att fartygsbuller fick en mindre utbredning och uppmätt ljudnivå blev lägre. Det finns alltså en naturlig säsongsvariation av inspelade ljudtrycksnivåer vilken kan noteras i figur 9 som visar månadsstatistik för 126 Hz tersbandet för tidsserien från Vinga för de månader som hade minst 13 dagar data.



Figur 9. Månadsstatistik av ljudtrycksnivån (SPL i dB re 1 μ Pa) i 126 Hz tersbandet under hela mätperioden från 2018 till 2022. Månadsstatistiken är beräknad på de månader som hade minst 13 dagars mätning. Glapp i tidsserien beror på att systemen inte spelade in data, då det förekommit elektroniska störningar som påverkat mätningarna eller då det inte funnits något hydrofonsystem på plats.

I figur 10 visas veckostatistik av ljudnivån tillsammans med 20s medelvärden för år 2019 och 2022 för fyra olika frekvensband. Glapp i tidsserien betyder att data för perioden saknas (tekniskt fel, elektroniska störningar eller att inget hydrofonsystem har funnits på plats). Den ljusgrå linjen i figurerna visar 20 sekunders medelvärden, där majoriteten av topparna är resultatet av fartygspassager. Som tidigare nämnts var det ca 30 fartyg med aktiv AIS transponder som passerade varje dag inom 5 km från stationen, ännu fler om statistik inom 10 km från stationen tas med. Observera att det finns mindre fartyg och båtar som färdas i området som inte har AIS men som finns med i ljuddata. Allt detta bidrar till omgivningsbullret och syns som toppar i tidsserien. Att det aritmetiska medelvärdet, dvs. medelvärdet beräknat i linjärskalan och inte i decibelskalan, ligger betydligt högre än medianvärdet antyder att de ljudkällor som passerar stationen har en mycket hög ljudnivå, även om de bara förekommer en liten del av tiden. Violinplottarna till höger om varje tidsserie är ett stående histogram för tidsseriens fördelning över olika ljudtrycksnivåer, för ökad läsbarhet visas histogrammet dubbelsidigt. Violinplottens bredd anger hur frekvent en viss ljudtrycksnivå förekommer i tidsserien. För alla frekvensband visar violinplotten att det lägsta uppmätta ljudtrycket låg högre i nivå under 2019 än 2022. Det är instrument-specifika egenskaper som sannolikt orsakar detta, då mätningarna från Vingastationen under 2019 filtrerades för att eliminera elektriska störningar. I övrigt visar violinplottarna att fördelningen av inspelad ljudnivå för respektive frekvensband är likartade år 2019 och 2022.



Figur 10. Ljudtrycksnivå (Sound Pressure Level, SPL) vid Vinga januari till december 2019 (a) och november 2021 - juni 2022 (b) över tid för olika frekvensband där de tre undre i respektive figur är 1/3-oktavband. Ljusgrå linjer visar 20-sekunders medelvärden. Medianen, 5%/95% percentilen samt aritmetiskt medelvärde är beräknade per vecka. Statistiken beräknas på veckor som har minst tre dagars ljudinspelning. Violinplottar till höger i respektive figur visar tidsseriens fördelning över olika ljudtrycksnivåer.

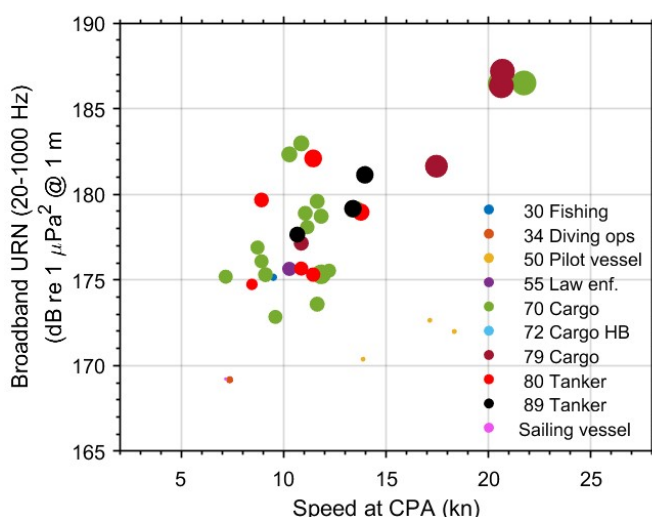
2.3.3 Utstrålat buller från enskilda fartyg

Under vintern 2021-2022 beräknades utstrålat buller (eng. Underwater Radiated Noise, URN) från fartyg med aktiv AIS transponder (Automatic Identification System) när de passerade Vinga-stationen. I tidigare projekt har en automatiserad metod för att beräkna URN från opportunistiska fartygspassager tagits fram (Svedendahl *m.fl.*, 2021).

Kortfattat så identifieras passager av ett fartyg med hjälp av AIS-data när fartyget befinner sig på lämpligt avstånd ifrån hydrofonstationen (< 1000 m) och när andra fartyg är tillräckligt långt bort för att inte störa ljudupptagningen. Fartygets passage förbi hydrofonstationen spåras och sparas ner. Data som har spelats in från hydrofonerna under passagen bearbetas sedan i flera sekventiella steg för att beräkna URN för fartyget som har passerat. Denna analysmetodik är baserad på klassificeringssällskapet Bureau Veritas riktlinjerna (Bureau Veritas, 2018). Slutligen presenteras URN för det individuella fartyget i en ensidig rapport. En databas har byggts upp av ett stort antal fartygspassager under vintern 2021-2022, vilken kan användas till att studera vilka fartygstyper som låter mest samt hur URN beror av hastigheten. En av de största felkällorna till den beräknade URN nivån är hur ljudet dämpas som funktion av avstånd. För att reducera felet från avståndsdämpning går det att göra dedikerade mätningar eller använda modellering som tar hänsyn till platsens bottengeometri med mera. I nedan exempel användes enbart den enkla formeln $17\log(R)$ för ljudutbredningen då en avancerad bestämning av ljudutbredningen inte rymdes inom projektet.

Under mätperioden november 2021 till mars 2022 noterades ca 250 fartygspassager förbi Vinga-stationen under rätt förutsättningar för att villkoren för en URN beräkning skulle vara uppfyllda. Beräkningar skedde till stor del automatiskt men data granskades också manuellt.

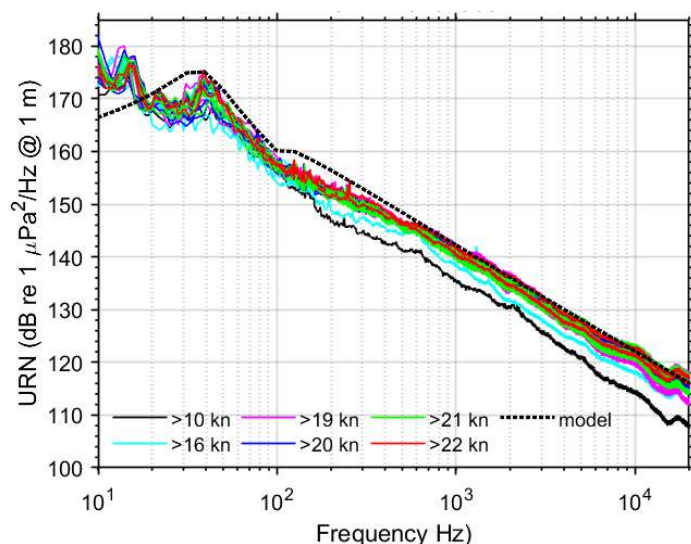
Den kategori av fartyg som bullrar mest är stora fraktfartyg av olika klasser (fartygslängd över 200 m), (figur 11). Dessa har även kört snabbast. Mindre fartyg som även kör saktare bullrar mindre. Det finns ett antal passager av lotsbåtar som är små men kör snabbt och dessa var några av de tystaste fartyg som spelats in (figur 11, Pilot vessel). De beräknade URN nivåerna ligger i samma nivå som de som tidigare har publicerats (McKenna, Wiggins och Hildebrand, 2013; MacGillivray och de Jong, 2021).



Figur 11. Uppskattad ljudtrycksnivå (SPL) av URN för ett antal fartygsklasser (baserat på data från fartygens AIS transpondrar), som passerat Vinga stationen. Notera att en enkel $17\log(R)$ modell har antagits för ljudets utbredningsdämpning. Storleken på cirkelarna speglar fartygs längd där den största cirkeln representerar 238 m och den minsta 10 m.

Ett 238 m långt Ro-Ro fartyg (ett fartyg som transporter lastbilar och bilar) passerade stationen 23 gånger under november 2021-mars 2022. Det körde oftast i 17-23 knop men passerade en gång i 10 knop (figur 12). Mätningarna visar att det fartyget bullrar mest under

100 Hz. Osäkerheten som den antagna enkla modellen för ljudets utbredningsdämpning leder till bedöms vara ett par decibel. Den beräknade källstyrkan för detta Ro-Ro-fartyg jämfördes med en modellerad källstyrka för ett liknade fartyg (Vehicle carrier) vid hastigheten 20 knop, vilken togs fram enligt JOMOPANS-ECHO modellen (MacGillivray och de Jong, 2021) som användes för ljudmodelleringen (figur 12). Det finns idag ingen källmodell för Ro-Ro fartyg och därför valdes modellen för Vehicle carrier i detta fall. Modellen stämmer relativt väl men skillnaderna förväntas minska om ljudutbredningen hade uppmätts på plats vilket inte var möjligt inom projektet. Under 20 Hz avviker modellen från data, vilket sannolikt beror på ljudutbredningen samt att modellen har en låg giltighet vid dessa frekvenser.



Figur 12. Spektrum av 23 passager av ett 238 m långt Ro-Ro fartyg som kör i 10-22 knop (färgade linjer). JOMOPANS- ECHO modellen (MacGillivray och de Jong, 2021) för ett liknade fartyg (Vehicle carrier) som kör i 20 knop visas med en svart streckad linje. Notera att en enkel $17\log(R)$ modell har antagits för ljudets utbredningsförluster.

3 Ljudkartor, validering och excess

JOMOPANS utvecklade ett ramverk för ett gemensamt övervakningsprogram för kontinuerligt undervattenbuller i Nordsjön, vilket tillämpade numerisk modellering för att skapa ljudkartor över Nordsjöområdet. För utvärdering av osäkerheterna i den numeriska modelleringen användes lokala mätningar.

3.1 Modellering och produktion av ljudkartor

Numerisk modellering av buller i havet har fördelen att den kan möjliggöra en mycket bredare rumslig och tidsmässig täckning än vad som är möjligt med mätningar från övervakningsstationer. Dessutom ger numeriska modeller insikt i enskilda ljudkällors bidrag till bakgrundsljudet och möjliggör studier av bullerreducerande scenarier. Å andra sidan är numerisk modellering begränsad till de källor och ljudutbredningseffekter för vilka modeller och indata finns tillgängliga. Tillförlitligheten hos modellresultat begränsas av modellförenklingar, bland annat förenklingar som görs för att hålla beräkningsmängden hanterbar. Tillförlitligheten beror också på kvaliteten på indata i form av bottenbotten, bottenbotten och våghöjd som har begränsningar avseende upplösning i tid, rum och kvalitet.

JOMOPANS modelleringsramverk var i projektet begränsad till ljudet från kommersiella fartyg och från vindgenererade vågor. Dessa två ljudkällor är de två mest dominerande källorna till det kontinuerliga lågfrekventa ljudet som finns i havet idag och som tas upp i D11C2. En utförlig beskrivning av hur denna modellering har genomförts finns i de Jong, Binnerts, Robinson, *m.fl.* (2021).

Sammanfattningsvis fokuserade JOMOPANS modellering på följande aspekter:

Ljudkällor

- Fartygstrafik: data baserad på Automated Identification System (AIS) och Vessel Monitoring System (VMS), där fartygstyp, längd och hastighet används och har en tidsupplösning på 10 min.
- Vindgenererade ytvågor: baseras på 10 min medelvindhastighet från satellitobservationer där medelvindhastigheten beräknats 10 m över vattenytan.

Miljö

- Batymetri: lokalt vattendjup vid lägsta astronomiska tidvatten.
- Havsbotten: lokala mediankornstorleken för det övre sedimentlagret vid källan, omvandlad till ljudhastighet, densitet och absorption.

Ljudkartorna producerades av TNO i Nederländerna och används för att kvantifiera i vilken utsträckning fartygsbullret överstiger det naturliga omgivande ljudet, representerat av det modellerade vindbruset. Effekten av detta överskridande kallas här excess, se vidare avsnitt 3.1.4 för en utökad diskussion om excess. Månadsljudkartor producerades för åren 2019-2020, för percentilerna 5, 10, 25, 50, 75, 90 och 95% och för en tredjedels oktavband, med centerfrekvenser som sträcker sig från 10 Hz till 20 kHz (de Jong *m.fl.*, 2022). Ljudtrycksnivån är ett djupmedelvärde sett över vattendjupet. Upplösningen i kartorna är 3x3 km².

3.1.1 Källmodell för fartyg

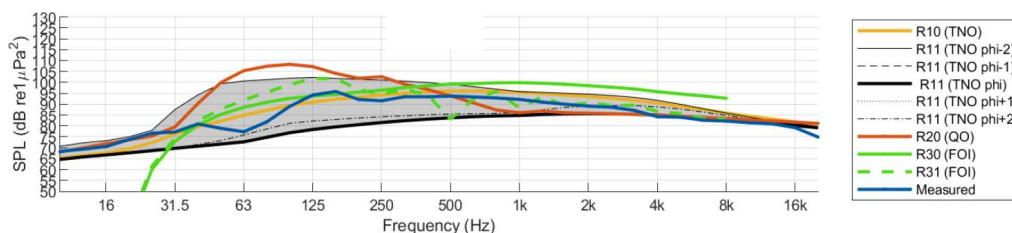
En av de viktigaste parametrarna för modellen är hur mycket fartygen bullrar. Det finns ett antal olika källmodeller publicerade för detta, men JOMOPANS har tillsammans med företaget JASCO Applied Sciences i Kanada uppdaterat en befintlig källmodell med data från 1862 fartygspassager från en hydrofonstation utanför Vancouver inspelade inom programmet Enhancing Cetacean Habitat and Observation (ECHO). Denna datauppsättning användes för att fastställa hastighetsberoendet för källnivåer för flera olika kategorier av fartyg. JOMOPANS-ECHO -modellen är baserad på RANDI3.1-modellen och beräknar fartygets källnivåspektrum som en funktion av frekvens, fartygshastighet, fartyglängd och

fartygsklass. En mer utförlig beskrivning av den nya modellen finns i den vetenskapliga publikationen MacGillivray och de Jong (2021).

3.1.2 Modellverifiering och validering

Tillförlitligheten hos de modellerade undervattensljudskartorna beror på en lämplig verifiering och validering av de tillämpade modellerna. Här användes termen verifiering för att testa hur väl de numeriska modellerna är implementerade i mjukvara och beräknar rätt utdata för specificerade indata. Validering syftar till att visa att modellens utdata återspeglar en adekvat representation av verkligheten, dvs. jämförelse med direkta mätningar.

I projektet gjordes två verifieringar av de ljudutbredningsmodeller som används i framtandet av ljudkartorna. Detta arbete gjorde TNO i samarbete FOI, JASCO och Quiet Oceans (QO). Resultatet från verifieringsarbetet finns utförligt beskrivet i Binnerts *m.fl.* (2021) och de Jong, Binnerts, Östberg, *m.fl.* (2021). Som ett exempel visar figur 13 ett resultat från verifieringsarbetet där de olika forskargruppernas resultat jämförs för den geografiska punkt där Vingastationen var placerad. Det är en viss spridning på den beräknade ljudnivån som beror på en mängd variabler där de olika organisationerna skiljer sig åt. Dessa variabler kan vara att ljudhastigheten finns med (FOI, QO) eller inte finns med (TNO); att TNO och QO har en avståndsberoende batymetri medan FOI inte har det; eller resultat som funktion av olika kornstorlek i sedimentet (TNO). Dessa variabler spelade en större roll för slutresultatet än vilken ljudutbredningsmodell som användes. För en utförligare beskrivning av detta arbete och slutsatser se Binnerts *m.fl.* (2021).



Figur 13. Modellerade ljudnivåer (50 percentil) för vind och fartygsbuller för den geografiska punkten där Vingastationen stod. Legenden till höger visar de olika forskargruppernas bidrag och skillnader beror på en variation i flera modellparametrar. Figuren är tagen från Binnerts *et al.* (2021).

När de slutliga ljudkartorna hade producerats genomfördes en validering mot mätdata i WP6. Detta arbete leddes av CEFAS och var oberoende av både mätningarna och modelleringsarbetet. Detta arbete och dess resultat beskrivs utförligt i Putland, Farcas och Merchant (2021), men summeras kortfattat nedan.

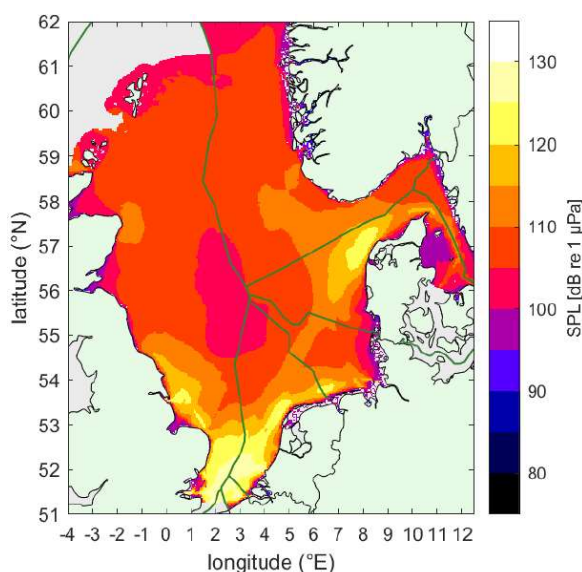
Redan under 2018 gjordes ett par kortare mätningar vid åtta platser i Nordsjön med syftet att ge CEFAS och TNO en första möjlighet att påbörja sitt arbete. När sedan alla ljudkartor för 2019 var producerade av TNO tog CEFAS över och validerade dessa kartor med hjälp av mätdata från WP5.

Generellt sett förutspådde modellen lägre ljudnivåer än uppmätta data vid låga frekvenser (< 2 kHz), medan modellen överensstämde bättre med mätningarna vid högre frekvenser (> 2 kHz). I frekvensbandet 2-16 kHz beräknades ljudnivån för alla platser utom en inom ± 6 dB. Vid låga frekvenser (< 2 kHz) dominerar vanligtvis fartygsbuller och trots att modelldata är beräknat med ny information om fartygskällornas bullernivåer visar valideringsresultaten svårigheten att exakt förutsäga fartygsbullernivåer, vilket beror på flera osäkerhetsfaktorer. Dessa faktorer inkluderar bland annat kvaliteten på AIS-täckningen och noggrannheten i uppskattningen av de lokala lågfrekventa utbredningsförlusterna i grunda vatten som starkt påverkas av kvaliteten på sedimentegenskapsdata i modellen.

Valideringsprocessen är mycket viktig och visade på komplexiteten i analysen och hjälpte till att kvantifiera osäkerheter i både fältmätningarna och den akustiska modelleringen.

3.1.3 Ljudkartor

Som beskrivs ovan producerades en stor mängd kartor, inklusive individuella ljudkartor för flertalet olika fartygsklasser (de Jong *m.fl.*, 2022). Ett exempel på dessa ses i (figur 14) där årsmedianen av fartygs- och vindgenererat buller är sammanslagna för frekvensområdet 10 Hz till 20 kHz. Högst ljudnivå noteras vid Engelska kanalen och upp emot västra Danmark. Här går även den mesta fartygstrafiken. Tystast är centrala Nordsjön kring Dogger bank och västra Kattegatt, där den senare har stora grundområden där ljudet inte utbreder sig så långt vid låga frekvenser. Fartygsdensiteten är relativt konstant under året medan vinden varierade och hade högst ljudnivå under höst och vinter. Den vertikala ljudhastigheten finns inte med i modellen, vilket har en påverkan på hur långt ljudet propagerar och kommer vanligtvis påverka ljudnivån så att den blir högre på vintern och lägre på sommaren. Se exempel på detta från mätningarna vid Vinga, avsnitt 2.3.2. De största bullerkällorna är fraktfartyg, såsom container- och bulkfartyg, samt tankfartyg vilka även är flest till antalet.



Figur 14. Ljudkarta av den årliga medianen (50:e percentilen) av djupmedelvärde SPL i dB re 1 μ Pa i frekvensintervallet 10 Hz-20 kHz genererat av fartyg och vind i Nordsjöregionen 2019. Figuren är tagen från de Jong *m.fl.* (2022).

3.1.4 Excess och dominans

En central del i havsförvaltningen är att uppskatta den del av det totala bullret som orsakas av mänskliga källor, i detta fall fartyg. När det mänskligt genererade bullret överstiger det naturliga vindbruset kallas detta för excess. Med ökande excess försämras möjligheten för marina djur att upptäcka och tolka för dem viktiga akustiska signaler. Detta kallas för maskering. Genom att använda ett fast tröskelvärde för excess för en viss frekvens kan miljötrycket direkt kopplas till djurens möjlighet att kommunicera eller detektera en viktig akustisk signal, där ett tröskelvärde på:

- 6 dB betyder att djurens kommunikationsräckvidd har minskat med 50 %,
- 12 dB betyder att djurens kommunikationsräckvidd har minskat med 75 %,
- 20 dB betyder att djurens kommunikationsräckvidd har minskat med 90 %,

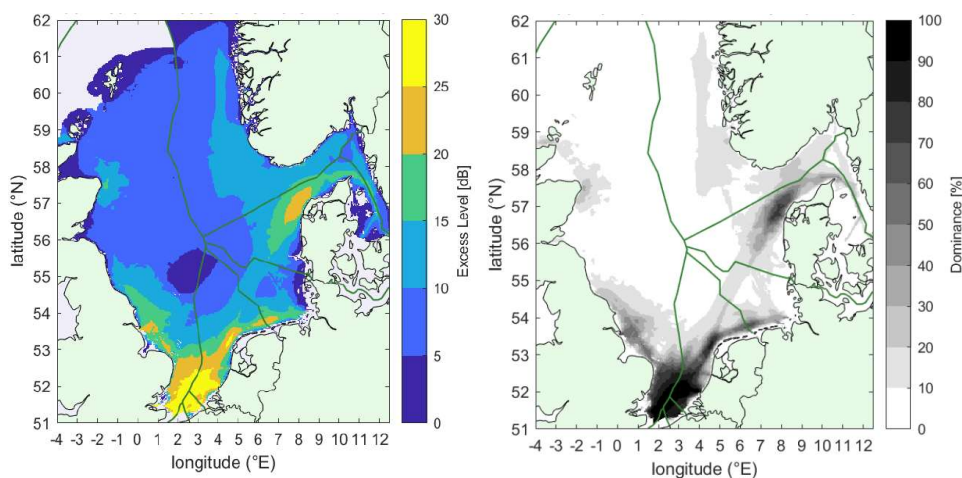
jämfört med den naturliga bullermiljön och antagande en sfärisk spridning av kommunikationssignalerna samt obetydlig absorption. Detta gör att man inte behöver veta exakta hörselkurvor för de olika djuren, utan excess pekar på en allmän försämring av habitatets kvalitet för ett visst frekvensband som är relevant för de marina djuren i habitatet.

Ljudkartor med excess visar att det är just i de områden som har högst totalljudnivå som excess är högst (figur 15, vänster). De områden som har lägst excess är i detta avseende återigen Dogger bank och västra Kattegatt. Som högst är median excessen uppmot 30 dB

vid Engelska kanalen på årsbasis. I svenska vatten är det främst i södra Kattegatt där excessen är högst, ca 15-20 dB. Med tanke på vad detta kan innebära för marina djur så är det en hög risk att djurens kommunikationsmöjligheter har påverkats i hög grad.

För att uppskatta miljötrycket över tid beräknas den procentuella tiden som excess är högre än ett fastställt tröskelvärde. Detta kallas dominans och figur 15 (höger) visar hur stor del av tiden som miljötrycket är över 20 dB i ett område för en viss tidsperiod, i JOMOPANS fall per månad (de Jong *m.fl.*, 2022). Begreppet dominans är relativt nytt och få exempel finns från andra områden.

Med ett gränsvärde för excess på 20 dB, kan man notera att det är uppemot 100 % av tiden som detta gränsvärde har överskrids i de hårt trafikerade områdena (figur 15, höger). För lägre gränsvärden ökar både ytan och tillfällena då excess blir högre än gränsvärdet vilket ger en ännu mörkare dominanskarta.



Figur 15. Vänster: Karta över den årliga (2019) mediannivån (50:e percentilen) excess (i dB). Höger: Karta över den årliga dominansen av fartygsbuller över vindbrus för frekvensintervallet 10Hz-20kHz för en excess av 20 dB. Figurer är tagen från de Jong *m.fl.* (2022).

JOMOPANS metodik och resultat har bidragit mycket till det pågående arbete med rekommendationer för hur havsmiljödirektivets deskriptor D11C2 om kontinuerligt lågfrekvent buller i europeiska vatten ska utvärderas (Sigray *m.fl.*, 2021; Borsani *m.fl.*, 2022). Dessa ljudkartor och resultat har kunnat exemplifiera hur det ramverk som föreslås kan användas i praktiken.

3.2 Webbaserat verktyg

För att kunna hantera den stora mängd ljudkartor som har tagits fram inom projektet utvecklades ett webbaserat verktyg, kallat för GES-verktyget (eng. Good Environmental Status). Verktyget är utvecklat för förvaltare, forskare och andra intressenter som vill använda JOMOPANS resultat och göra egna analyser om bullernivåer, excess och dominans i specifika områden kopplat till olika marina djurs utbredning. Exempel på utbrednings- och lekkartor för olika arter som finns inlagda i verktyget är torsk, kolja, spätta, sill, tumlare, vitnosdelfin och vikval. Verktyget kan nås via länken <https://jomopansgestool.au.dk/en/> och är tillgängligt för alla. Verktyget har tre huvudfunktioner: ladda ner datafiler, visa kartor och lager samt använda JOMOPANS GES-kalkylatorverktyg. Det senare är tänkt för att förvaltare ska kunna genomföra analyser genom att välja egna områden där man kan analysera om bullernivåer är för höga för vissa arter efter vissa antaganden. Detta ger resultat till nationella utvärderingar av miljöstatusen i havet kopplat till fartygsbuller.

4 Kommunikation

Ett helt arbetspaket dedikerades till kommunikation, både internt mellan projektets deltagare och externt för att förmedla projektets resultat till forskare, förvaltare, industri och allmänheten. FOI var arbetspaketsledare för detta arbete med stöd av koordinatören från Rijkswaterstaat. En intern strategirapport togs inledningsvis fram för hur kommunikationen skulle bedrivas, vilket kortfattat var skrivandet av projektrapporter, samt deltagande i vetenskapliga möten, konferenser och workshops. Vidare startades en hemsida där resultaten från projektet redovisades, vilket även inkluderar inspelade online-möten, presentationer och publikationer. I samband med halvtid i projektet startades ett Twitter konto som uppdaterades av Århus universitet under resten av projektiden. FOI och Rijkswaterstaat tog även fram mallar för rapporter, memo, PowerPoint och nyhetsbrev.

För att projektet skulle ta in erfarenheter och resultat från tidigare och pågående övervakningsprojekt och det övriga vetenskapliga arbete som pågår inom ämnet utarbetades en intern harmoniseringsstrategi inklusive en rapport av FOI. Denna strategi innefattade även de interna processerna för att dokumentera och sammanfatta de kontaktytor som projektet har haft. Denna dokumentation har varit till stor hjälp för att få statistik på vilken framgång projekt har haft med sin kommunikation samt vilka kontaktpersoner som finns runt om i världen inom forskningsämnet.

Projektet har haft förmånen att få presentera sina resultat i både tidningar, online och i pappersformat, runt om i regionen men även i radio och tv. På hemsidan (<https://northsearegion.eu/jomopans/>) finns många exempel på dessa framträdanden under fliken "News".

4.1 Policy Advisory Board

Kommunikation med förvaltare gjordes inom en inrättad Policy Advisory Board (PAB) med en person från varje Nordsjöländ. Från Sverige deltog en handläggare från Havs- och vattenmyndigheten. Projektet anordnade PAB möten ca två gånger per år där projektets resultat presenterades och förvaltarnas åsikter togs in och hanterades för att resultaten skulle bli så användbara som möjligt. Förvaltare har även deltagit i de externa projektmöten som regelbundet har anordnats.

4.2 Projektmöten

Projektet hade ett uppstartmöte i Amsterdam 2019 strax efter projektstarten där projektets övergripande syfte och mål, samt hur dessa mål kunde nås, diskuterades. Redan på första mötet var det ett tydligt fokus på att ha en aktiv kommunikation både inom projektet men även externt med andra projekt, internationella expertgrupper i ämnet, förvaltare och även i viss mån allmänheten. I oktober 2019 hölls ett mid-term event i The Royal Society:s lokaler i London med 75 deltagare. Under mötet presenterades resultatet av de första 1,5 årens arbete samt en policy rapport (Kinneging, 2019). I juni 2021 anordnade projektet ett slutmöte där tre års arbete presenterades. Möte var ett online-möte pga. Covid-restriktioner, men hade uppemot 150 deltagare från hela världen. Förutom en beskrivning av projektet i sin helhet genomfördes även en demonstration av GES verktyget samt en presentation av projektets slutrapport (Kinneging *et al.*, 2021). Projektet förlängdes med ett år som tidigare nämnts och avslutades i juni 2022 med ett gemensamt slutmöte i Corks, Irland, tillsammans med EU projektet Joint Framework for Ocean Noise in the Atlantic Seas (JONAS). Mötet anordnades denna gång med deltagare både på plats lokalt och uppkopplade via webben. De senaste årens arbete presenterades inkl. en uppdaterad policy rapport (Jomopans, 2022).

4.3 Vetenskapliga möten, workshops och publikationer

Projektdeltagarna var mycket aktiva i kommunikationsarbetet och sammantaget har mer än 85 vetenskapliga möten, konferenser, workshops och expertgruppsmöten besökts där projektets resultat har presenterats på ett eller annat sätt. Sammantaget nåddes mer än 800 personer från ca 300 organisationer av någon form av information om projektet, men detta kan anses vara i underkant då både tv och radio framträdanden inte är inkluderade i dessa siffror. Som ett exempel har FOIs forskare deltagit i Radio P4 och i TV4 och berättat om projektet och ljud under vattnet.

Projektet har haft extra fokus på kommunikation med expertgrupperna ICG Noise (OSPAR) och TG Noise (EU) där projektets resultat har kommit till direkt nytta i pågående processer om utvärdering av kontinuerligt bullret i havet kopplat både till Quality Status report 2023 (OSPAR) och Havsmiljödirektivet indikator D11C2 (EU) (Sigray *m.fl.*, 2021; Borsani *m.fl.*, 2022).

I juli 2019 organiserade FOI och RWS en workshop med titeln *"Monitoring continuous underwater sound: beyond acquisition"* där forskare från Europa, USA och Australien från pågående och avslutade övervakningsprojekt deltog. Syftet var att diskutera kraven för datahantering och försöka hitta sätt att göra övervakningsdata tillgängliga för forskare, beslutsfattare och allmänheten och för att hitta lösningar för bästa möjliga harmonisering. Deltagarna kunde enas om ett gemensamt mål som lydde *"the sharing of knowledge and data in the field of underwater acoustics is essential to progress in the scientific field as well as on the management of underwater sound"*.

Under projekttiden har tre vetenskapliga artiklar publicerats (Tougaard, Hermannsen och Madsen, 2020; MacGillivray och de Jong, 2021; Putland *m.fl.*, 2022). Ett manuskript för ytterligare en vetenskaplig artikel är under bearbetning. Fem vetenskapliga konferenser besöktes där projektet presterades både med muntliga framställningar och med postrar.

4.4 Hemsida och nyhetsbrev

Hemsidan publicerades officiellt i januari 2018 och uppdaterades rutinmässigt med korta nyhetsartiklar, nyhetsbrev och publicerade rapporter. Genom projekttiden hade hemsidan i genomsnitt 500 besökare per månad. Efter projektavslut kommer webbplatsen vara tillgänglig i fem år.

Under projekttiden producerade FOI för projektets räkning ett faktablad och fem nyhetsbrev med information om projektet, kommande möten och resultat. Nyhetsbreven har haft uppemot 320 mottagare och har varit en av de huvudsakliga metoderna att sprida resultat mellan de externa mötena.

4.5 Implementationsplan och slutrapport

Syftet med projektet var att utveckla ett ramverk för ett operativt, standardiserat och koordinerat övervakningsprogram för kontinuerligt buller i Nordsjön. Vidare har även en metod för hur man kan utvärdera miljöbelastningen av fartygsbuller tagits fram. I projektets implementationsplan (Kinneging och Gersonius, 2021) och slutrapport (Kinneging *m.fl.*, 2021) finns projektets resultat och slutsatser presenterade. Rapporterna innehåller även förslag på hur ett koordinerat övervakningsprogram kan fortsätta efter projekts slut. Slutsatserna och rekommendation i rapporterna har presenterats för förvaltare i PAB och kan anses vara väl förankrade.

5 Slutsatser

Undervattensbuller från fartyg är en internationell fråga då fartygen rör sig över nationsgränser och bullret kan spridas över stora områden. Även marina djur rör sig över stora områden och kan påverkas negativt av fartygsbuller. Områden där både fartyg rör sig och marina djur förekommer sammanfaller ofta och det gäller speciellt i Nordsjön där flera av världens största farleder går. Flertalet internationella regelverk som nämns i rapporten belyser behovet av information om vilken nivå av buller som finns i havet idag och hur man kan uppskatta bullrets påverkan på marina djur. Detta informationsbehov var drivande i motiveringen till genomförandet av projektet.

I projektet har det varit elva konsortiumpartners från åtta länder kring Nordsjön och koordinatör var Rijkswaterstaat från Nederländerna. Projektet pågick mellan 1 januari 2018 och 30 juni 2022 och lyckades med sin ansats att utveckla ett ramverk för ett operativt, standardiserat och koordinerat övervakningsprogram för kontinuerligt buller i Nordsjön. Koordineringen av detta övervakningsprogram har nu plockats upp av OSPAR gruppen ICG Noise som tar JOMOPONS påbörjade arbete vidare. Ljudkartor finns nu tillgängliga för 2019-2020 och ger en detaljerad inblick i Nordsjöns bullernivåer månadsvis och för olika frekvenser. Ett webbaserat verktyg är tillgängligt för att titta på och analysera kartorna. JOMOPANS demonstrerade vikten av att genomföra både numerisk modellering och mätning till sjöss för att genomföra validering och verifiering av de beräknade ljudkartorna. Mätningar av den lokala ljudbilden genomfördes vid totalt 18 positioner i Nordsjön under hela 2019. Dessa mätningar utfördes i varje lands respektive nationella vatten med olika mätinstrument och uppställningar. För svensk del byggdes en kabelansluten hydrofonstation som sjösattes väster om ön Vinga utanför Göteborg. Stationen levererade högkvalitativ data i realtid under projektiden och även en uppskattning av ett flertal passerande fartygs utstrålade buller. Arbetet med konstruktionen och driften av Vingastationen har resulterat i värdefulla erfarenheter inför framtida design och konstruktion av övervakningsstationer, både för mätningar av bakgrundsljud men även för mätningar av fartygs utstrålade bullernivåer.

Ljudkartorna kommer att användas inom OSPARs Quality Status Report 2023 vid framtagandet av tröskelvärden för D11C2, men även som underlag till den svenska miljökvalitetsnormen för kontinuerligt undervattenbuller.

Projektets resultat har kommunicerats till en bred publik inkluderat forskare, förvaltare (via Policy Advisory Board), fartygsindustri och allmänhet. Detta har skett genom produkter som projektet har tagit fram i form av rapporter, artiklar, nyhetsbrev, policy briefs, öppna möten och via hemsidan. Vidare har projektdeltagare presenterat resultat på workshops, konferenser, i radio och tv samt vid nationella och internationella vetenskapliga möten.

Vissa projektaktiviteter påverkades av den rådande covid-19 situationen, men utan signifikant påverkan på slutresultatet. Det var främst begränsningar i fysiska möten som gjorde att visst arbetet tog längre tid och utbytet mellan projektpartners inte blev lika effektivt. För svensk del ökade kostnaderna för fältarbetet eftersom dyrare fartyg fick hyras in när Kustbevakningen inte längre kunde anlitas.

Stora EU projekt likt detta genererar både mycket användbara resultat och data samt ger en möjlighet för svenska forskare att samarbeta med forskare från andra länder. Vidare görs större framsteg inom ett forskningsområde än annars skulle vara möjligt i enbart nationella projekt.

6 Referenser

- Andersson, M. H., Lalander, E. och Linné, M. (2022) *Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet*. FOI Memo 7848. Tillgänglig vid: <https://foi.se/rapportsammanfattning?reportNo=FOI Memo 7848>.
- Binnerts, B. *m.fl.* (2021) *Model predictions 2018 measurement sites*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (Jomopans). Tillgänglig vid: https://northsearegion.eu/media/17955/wp4_t43_report_2018_modelpredictionsandupdates_final.pdf.
- Borsani, J. F. *m.fl.* (2022) *Setting of EU Threshold Values for continuous underwater sound*. TG Noise Recommendations (TG Noise Deliverable 4), Technical Group on underwater noise (TG Noise). Editorial coordination : Maud Casier, DG Environment, European Commission. Tillgänglig vid: <https://circabc.europa.eu/ui/group/326ae5ac-0419-4167-83cae3c210534a69/library/6ae48991-4904-45a2-b9ec-0cb530588b5b/details>.
- Bureau Veritas (2018) *Underwater Radiated Noise (URN)*. Rule Note NR 614 DT R00 E.
- Dekeling, R. P. A. *m.fl.* (2014) *Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas - Part I: Executive Summary*. JRC Scientific and Policy Report EUR 26557 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2014: Publications Office of the European Union. doi: 10.2788/29293.
- Duarte, C. M. *m.fl.* (2021) "The soundscape of the Anthropocene ocean", *Science*, 371(6529). doi: 10.1126/science.aba4658.
- EU (2017) "Commission decision (EU) 2017/848". Tillgänglig vid: https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/ComDec/Com_dec_GES_2017_848_EU.pdf.
- Fischer, J. G., Kühnel, D. och Basan, F. (2021) *JOMOPANS Measurement Guidelines*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS). Tillgänglig vid: https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20210816164008_WP5FinalReport-MeasurementsGuidelines.pdf.
- IMO MEPC (2013) *Noise from commercial shipping and its adverse impacts on marine life*. International Maritime Organization Marine Environmental Protection Committee (IMO MEPC), MEPC 66/17.
- ISO 18405:2017 (2017) "Underwater acoustics — Terminology". Tillgänglig vid: <https://www.iso.org/standard/62406.html>.
- Jomopans (2022) *Delivering information to support stewardship of the North Sea soundscape - A policy brief from the Interreg North Sea Region Jomopans project*. Tillgänglig vid: <https://jomopanspolicybrief.myportfolio.com/> (Åtkomstdatum: 16 november 2022).
- de Jong, C., Binnerts, B., Robinson, S., *m.fl.* (2021) *Guidelines for modelling ocean ambient noise*. Report of the Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea. Tillgänglig vid: https://northsearegion.eu/media/17953/jomopans-guidelines-for-modelling-ocean-ambient-noise_final.pdf.
- de Jong, C., Binnerts, B., Östberg, M., *m.fl.* (2021) *Jomopans model benchmarking and sensitivity studies*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS). Tillgänglig vid: https://northsearegion.eu/media/17954/wp4_t42_report_modelverification_final.pdf.
- de Jong, C. *m.fl.* (2022) *North Sea Sound Maps 2019-2020*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (Jomopans). Tillgänglig vid: <https://northsearegion.eu/media/21823/jomopans-north-sea-sound-maps-2019-2020.pdf>.
- Kinneging, N. (2019) "Soundscaping the North Sea, Toward an implementation plan for ambient noise monitoring", (October).
- Kinneging, N. *m.fl.* (2021) *10 Years of North Sea Soundscape Monitoring - Looking back on a*

four-year Interreg NSR project and looking forward to the six-year monitoring cycle. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (Jomopans). Tillgänglig vid: https://northsearegion.eu/media/17501/interreg_jomopans_10-years-of-north-sea-soundscape-monitoring_final.pdf.

Kinneging, N. och Gersonius, B. (2021) *Jomopans Implementation plan*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (Jomopans). Tillgänglig vid: https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20210816165016_Jomopans_implementation_plan_v5_0.pdf.

Lalander, E. och Andersson, M. H. (2017) *Övervakning av buller enligt havsmiljödirektivets deskriptor 11 , slutrapport KABAM 2017*. FOI Memo 6310.

Lalander, E., Nordström, R. L. och Andersson, M. H. (2021) *Underwater soundscape at the Northern Midsea bank - The influence of ship noise on ambient noise and its implications for marine mammal management*. FOI report FOI-R--5168--SE. Tillgänglig vid: <https://www.foi.se/rapportsammanfattning?reportNo=FOI-R--5168--SE>.

Larsson Nordström, R. *m.fl.* (2022) "Maximum likelihood separation of anthropogenic and wind-generated underwater noise", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 152(3), s. 1292–1299. doi: 10.1121/10.0013887.

MacGillivray, A. och de Jong, C. (2021) "A reference spectrum model for estimating source levels of marine shipping based on automated identification system data", *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4), s. 369. doi: 10.3390/jmse9040369.

McKenna, M. F., Wiggins, S. M. och Hildebrand, J. A. (2013) "Relationship between container ship underwater noise levels and ship design, operational and oceanographic conditions", *Scientific Reports*, 3(1), s. 1–10. doi: 10.1038/srep01760.

Merchant, N., Farcas, A. och Powell, C. (2018) *Acoustic metric specification*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS). Tillgänglig vid: https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20180925143035_Jomopans_Acoustic_indicator_report.pdf.

Nikolopoulos, A. *m.fl.* (2016) *BIAS Implementation Plan - Monitoring and assessment guidance for continuous low frequency sound in the Baltic Sea*. BIAS LIFE11 ENV/SE/841. Tillgänglig vid: <https://biasproject.files.wordpress.com/2013/11/bias-implementation-plan.pdf> (Åtkomstdatum: 22 oktober 2020).

Putland, R., Farcas, A. och Merchant, N. (2021) *Validation report : 2019 data*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS). Tillgänglig vid: https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20210816164628_WP6.22019JOMOPANS_UncertaintyreportCefas.pdf.

Putland, R. L. *m.fl.* (2022) "Multi-site validation of shipping noise maps using field measurements", *Marine Pollution Bulletin*, 179(May). doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113733.

Robinson, S. *m.fl.* (2021) *Standard procedure for equipment performance, calibration and deployment*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS). Tillgänglig vid: https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20190325133343_Jomopans_STD_EquipmentPerformance_Calibration-Deployment.pdf.

Robinson, S. och Wang, L. (2021) *Terminology for ocean ambient noise monitoring*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (Jomopans). Tillgänglig vid: https://northsearegion.eu/media/17741/jomopans_wp3-standard-terminology_final.pdf.

Sigray, P. *m.fl.* (2021) "Assessment Framework for EU Threshold Values for continuous underwater sound, TG Noise Recommendations". TG Noise Technical Advice report DL.3: Editorial coordination: Maud Casier, DG Environment, European Commission, s. 50.

Tillgänglig vid: [https://ec.europa.eu/environment/marine/pdf/Doc_2_-20TG_Noise_DL3 - AF for EU TV for continuous noise.pdf](https://ec.europa.eu/environment/marine/pdf/Doc_2_-20TG_Noise_DL3_-_AF_for_EU_TV_for_continuous_noise.pdf).

Svedendahl, M. *m.fl.* (2021) *Underwater acoustic source signatures from recreation boats - Field measurements and guidelines*. FOI report FOI-R--5115--SE.

Tougaard, J., Hermannsen, L. och Madsen, P. T. (2020) "How loud is the underwater noise from operating offshore wind turbines?", *Journal of the Acoustical Society of America*, 148(5), s. 2885–2893.

Verfuß, U. *m.fl.* (2015) *BLAS Standards for noise measurements. Background information, Guidelines and Quality Assurance. Amended version*. Tillgänglig vid: https://biasproject.files.wordpress.com/2016/04/bias_standards_v5_final.pdf.

Ward, J. *m.fl.* (2021) *Standard for data processing of measured data*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS). Tillgänglig vid: https://northsearegion.eu/media/17742/jomopans_wp3-standard-data-processing_final.pdf.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se