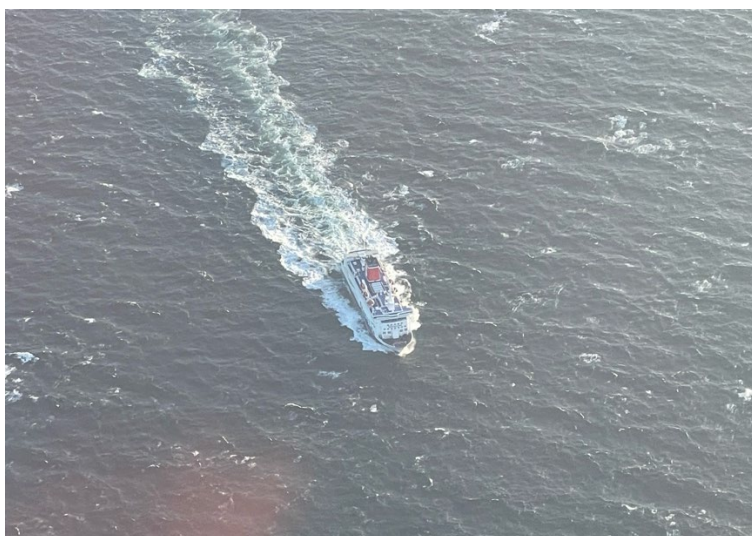


Overvågning af lavfrekvent undervandsstøj i danske havområder

Statusnotat til Miljøstyrelsen 2025

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: December 2025 | **75**



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Overvågning af lavfrekvent undervandsstøj i danske havområder
Statusnotat til Miljøstyrelsen 2025

Forfatter(e): Siri L. Elmegaard, Emily T. Griffiths, Michael Ladegaard, Jakob Tougaard
Institution(er): Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

Faglig kommentering: Mia Lybkær Kronborg Nielsen
Kvalitetssikring, DCE: Camilla Uldal

Ekstern kommentering: Miljøstyrelsen. [Kommentarerne findes her](#)

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Elmegaard, S.L., Griffiths, E.T., Ladegaard, M., Tougaard, J. 2025. Overvågning af lavfrekvent undervandsstøj i danske havområder. Statusnotat til Miljøstyrelsen 2025. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 26 s. – [Fagligt notat nr. 2025/75](#)

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: S. L. Elmegaard

Sideantal: 26

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	3
1 Resumé	4
2 English summary	5
3 Baggrund	6
3.1 Havstrategidirektivets kriterium D11C2	6
3.2 Indikatorvurderinger i de regionale havkonventioner	6
3.3 Tekniske retningslinjer i overvågningen	7
3.4 Synergi og bidrag fra øvrige projekter til overvågningen	7
4 Metoder	8
4.1 Målestationer	8
4.2 Udstyr	9
4.2.1 SM2M dataloggeren	10
4.2.2 ST500 dataloggeren	10
4.2.3 ST600 dataloggeren	11
4.3 Basal dataanalyse	11
4.4 Tendensanalyse	12
5 Resultater	13
5.1 Indsamlede data	13
5.2 Basal dataanalyse	13
5.3 Tendensanalyse	18
5.3.1 Konklusion og usikkerhed	18
6 Referencer	21
Appendix	23
A.1 JOMOPANS	23
A.2 Ekkolod og sonar som presfaktor	23
A.3 Undervandsstøj i Aarhus Bugt	24
A.4 Strategisk Miljøvurdering Nordsøen I Havvind	24
A.5 Kortlægning af potentialet for udbygning af havvind i Danmark	24
A.6 Projekter udført i samarbejde med Mærsk, senere Total Energies	25
A.7 TANGO	25
A.8 DEMASK	25
A.9 Anvendeligheden af fiberoptiske kabler til støjovervågning	25
A.10 Småbådes bidrag til undervandsstøj i kystnære farvande	25
A.11 SATURN	25
A.12 Undervandsstøj i danske farvande	26
A.13 Seasounds	26

1 Resumé

Vedvarende lavfrekvent undervandsstøj overvåges via støjloggere udsat på seks målestationer i danske havområder. Målestationerne omfatter Lillebælt, Stevns, Hjelm og Anholt i indre danske havområder samt Gule Rev og Horns Rev III i Nordsøen. Der roteres imellem målestationerne, så der måles på mindst tre stationer hvert år. Eftersom nogle målestationer optog hen over vinter og ind i foråret, blev der i 2024 indsamlet data fra fem stationer: Lillebælt, Hjelm, Anholt, Horns Rev og Gule Rev. Målingerne er kontinuerte optagelser af støj, som mindst dækker fra 20 Hz til 20 kHz, som opgøres i månedlige medianer og percentiler (L_{95} , L_{75} , L_{25} , L_{05}) i decadebånd, inklusive bånd omkring 63 Hz, 125 Hz og 2 kHz. Tilgangen er i overensstemmelse med EU's og HELCOM's retningslinjer for overvågning af undervandsstøj.

Data viser variationer i støjniveauer fra måned til måned og station til station. Tendensanalyser for støjmålingerne blev udført for fem ud af de seks målestationer, hvor der var tilstrækkelige data, og viser stigende tendenser ved lavere frekvensbånd relevante for skibsfarten ved Stevns og Hjelm. Lillebælt, Anholt og Gule Rev viser ikke tydelige stigende eller faldende tendenser. Efterhånden som stationerne indsamler mere data og i takt med, at der metodeudvikles og udveksles erfaringer, forventer vi at kunne lave mere præcise analyser for tendenser i støjniveauerne ved de danske målestationer.

2 English summary

Continuous low frequency underwater noise is monitored via broadband noise loggers deployed at six measurement stations around Denmark. Monitoring sites include Lillebælt, Stevns, Hjelm and Anholt within the inner Danish waters, and Gule Rev and Horns Rev III in the Danish North Sea. Deployments rotate between the stations, such that measurements are obtained from at least three stations every year. As some station deployments stagger across the winter into spring, measurements were collected from five stations in 2024: Lillebælt, Hjelm, Anholt, Horns Rev and Gule Rev. Measurements are continuous recordings of noise from at least 20 Hz to 20 kHz, which are quantified in monthly medians and percentiles (L_{95} , L_{75} , L_{25} , L_{05}) in decidecade bands, including bands around 63 Hz, 125 Hz, and 2 kHz. This approach is in accordance with EU and HELCOM monitoring guidelines for continuous low frequency underwater noise.

Data shows variations in noise levels between months and between stations. Trend analyses for noise measurements were performed for five out the six measuring stations, where data were sufficient, and show a positive trend at the lower frequency bands relevant for ship noise at Stevns and Hjelm. Lillebælt, Anholt and Gule Rev do not show clear increasing or decreasing trends. With time, as more data are collected from the measurement stations, methods are developed further and experiences are exchanged in the scientific community, we expect to perform more robust and precise analyses for trends in noise levels at the Danish measurement stations.

3 Baggrund

Dette notat beskriver status for overvågningen af vedvarende lavfrekvent undervandsstøj i indre danske havområder og Nordsøen frem til begyndelsen af 2025. Overvågningen udføres på vegne af Miljøstyrelsen og foregår som en del af opfyldelsen af Danmarks forpligtelser i henhold til EU's havstrategidirektiv (Council, 2008). Miljøstyrelsen har haft mulighed for at kommentere et udkast til notatet inden offentliggørelsen.

Dette notat er en afrapportering af de indsamlede data efter kvalitetssikring og en basal dataanalyse i henhold til anbefalinger fra EU (Dekeling, 2014) og HELCOM (HELCOM, 2021). Notatet indeholder derfor ikke tilbundsgående analyser eller synteser af målingerne. Mulige tendenser i støjniveauer undersøges dog for flere stationer med statistiske metoder, der er under udvikling i takt med dataindsamling samt international erfaringserhvervelse og -udveksling.

Særligt skibsfarten er kilde til menneskeskabt vedvarende lavfrekvent undervandsstøj, men også andre kilder bidrager, som gennemgået i andre rapporter, f.eks. (Tougaard, 2023)

3.1 Havstrategidirektivets kriterium D11C2

Havstrategidirektivet (Council, 2008) pålægger EU medlemslandene at arbejde for at opnå og fastholde god miljøtilstand i EU's havområder. For at kunne nå dette mål beskriver direktivets GES-afgørelse god miljøtilstand for 11 deskriptorer, samt kvantificerbare kriterier under hver deskriptor (Commission, 2017). Deskriptor 11 omhandler indførelsen af energi til havmiljøet, herunder menneskeskabt undervandsstøj, og omfatter to kriterier, der beskriver hvorledes miljøtilstanden skal vurderes for henholdsvis impulsstøj (D11C1) og vedvarende lavfrekvent støj (D11C2). Dette notat beskriver således den overvågning, der danner grundlag for at kunne vurdere miljøtilstanden for D11C2 i danske havområder.

3.2 Indikatorvurderinger i de regionale havkonventioner

Miljøtilstanden mht. undervandsstøj vurderes på grundlag af indikatorvurderinger udarbejdet i regi af de regionale havkonventioner for Nordøstatlanten og Nordsøen (OSPAR) og Østersøen (HELCOM). De danske overvågningsdata for lavfrekvent vedvarende undervandsstøj indgår direkte i datagrundlaget for disse indikatorvurderinger. Eftersom de danske data dækker vores havområder godt i tid og rum, beskriver de regionale indikatorvurderinger således danske havområder på et godt grundlag, og kan anvendes mere eller mindre direkte ifm. den danske afrapportering til EU ifm. havstrategiens krav om at vurdere miljøtilstanden.

De regionale indikatorer udarbejdes hvert sjette år i overensstemmelse med havstrategiens cyklus. De næste indikatorer udarbejdes således i de kommende år og skal indgå i OSPAR's Intermediate Assessment 2029 og HELCOM's Holistic Assessment 4 (HOLAS 4) ligeledes i 2029.

3.3 Tekniske retningslinjer i overvågningen

For at de danske data kan indgå i de regionale indikatorer for undervandsstøj, følges EU's (Dekeling, 2014) og HELCOM's (HELCOM, 2021) anbefalinger for overvågningen. Der findes ikke OSPAR-anbefalinger for overvågningen af undervandsstøj. Indikatorvurderingen i forbindelse med OSPAR's QSR23 blev stort set gennemført i regi af Interreg-projektet JOMOPANS, som har formuleret en række standarder (Fischer, 2021; Robinson S, 2021; Ward J, 2021) i harmoni med EU- og HELCOM-anbefalingerne. I overensstemmelse med anbefalingerne måler den danske overvågning støjniveauet i frekvensområdet 20 Hz til 20 kHz. Den lavfrekvente vedvarende støj vurderes ved hjælp af gennemsnitlige lydniveauer (dB re 1 μ Pa, Root Mean Square, rms) inden for specifikke decadebånd¹. I den danske overvågning af undervandsstøj anvendes decadebåndene 63 Hz, 125 Hz og 2 kHz, men alle decadebånd imellem 20 Hz og 20 kHz (og langt over, afhængigt af det udlagte udstyr) udregnes og rapporteres til en fælles regional database, der drives af International Council for the Exploration of the Seas (ICES). Decadebåndene ved 63 Hz og 125 Hz er valgt efter EU-Kommissionens retningslinjer (Council, 2008; Commission, 2017) som de mest repræsentative bånd for skibstrafikken, som er den dominerende støjkilde for D11C2. Støjen opgøres endvidere i 2 kHz-båndet i overensstemmelse med HELCOM's retningslinjer for at indgå i HELCOM's (pre-core) indikator "Continuous low frequency anthropogenic sound" (HELCOM, 2023). 2 kHz-båndet er særligt relevant for havpattedyr og især for marsvin (*Phocoena phocoena*), der hører ved højere frekvenser, og i øvrigt er det eneste havpattedyr i Østersøen, som er nævnt i Habitatdirektivets bilag IV og dermed er under streng beskyttelse (Council, 1992).

3.4 Synergi og bidrag fra øvrige projekter til overvågningen

Ud over overvågningsprogrammet, har også øvrige projekter indsamlet støjdata, som har bidraget til overvågningen af undervandsstøj og til kalibrering af støjmodeller til grund for regionale indikatorvurderinger. I dette notat gøres derfor også status for hvorledes en række ECOS/DCE-projekter har bidraget til overvågning og vurdering af undervandsstøj, eller anden implementering af havstrategien. Et foreløbigt overblik over projekter i synergi med overvågningen og havstrategien gives i Appendix 1.

¹ Et decadebånd har båndbredden 1/10 af en dekad (~23% af centerfrekvensen), hvilket i praksis er det samme som en tredjedel oktav, som er den traditionelle betegnelse.

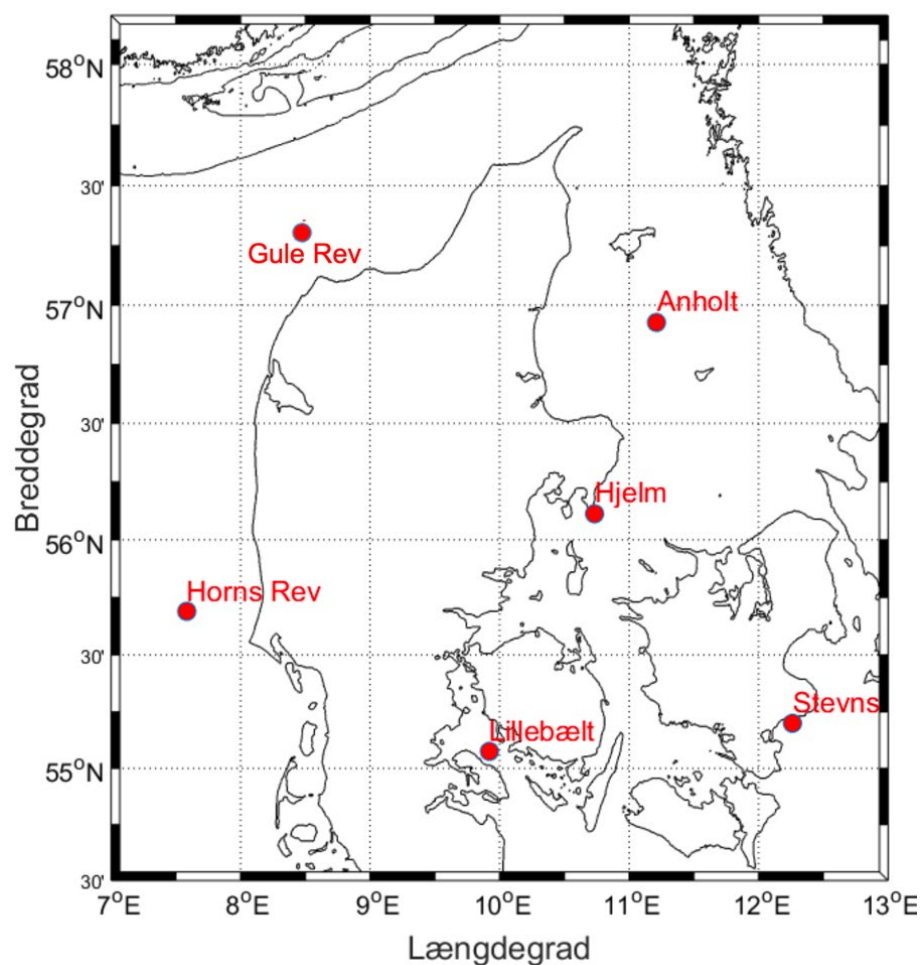
4 Metoder

De anvendte måle- og analysemetoder følger anbefalingerne fra HELCOM (HELCOM, 2021), EU (Dekeling, 2014) og den tekniske anvisning for vedvarende undervandsstøj (Tougaard, 2019).

4.1 Målestationer

Det danske overvågningsprogram opererer gennem seks målestationer, hvor der skiftevis indsamles data, således at mindst tre stationer leverer data hvert år. Rotationen imellem stationer blev indført i forbindelse med en udvidelse af antallet af stationer, som medførte et effektiviseringsbehov, og har været anvendt siden 2021, hvor Gule Rev blev føjet til listen over målestationer. Det nøjagtige antal af aktive stationer hen over et givet år kan være højere, hvis stationer er aktive hen over nytår (se figur 5.1). I Kattegat er der to stationer: ved Anholt (station 104) og Hjelm (station 103). I den sydlige del af de indre danske farvande findes to stationer: i Lillebælt (station 35) og ved Stevns (station 38). I Nordsøen er stationerne placeret ved Horns Rev III (station 201) og Gule Rev (station 202). Målestationerne fremgår af figur 4.1 med positioner angivet i tabel 4.1.

Figur 4.1. Kort med angivelse af de seks faste stationer i danske havområder. Farvandet omkring Bornholm dækkes af målestationer i den svenske, tyske og polske overvågning.



Tabel 4.1. Målestationer anvendt siden 2019. Station 35-104 blev også anvendt i 2016-2018. Koordinatsystem: WGS 1984. Et rotationsystem blev indført i 2021, hvor hver rotationsgruppe (A, B eller C) har en aktiv station om året.

Rotation	Nummer	Navn	Længdegrad	Breddegrad	Dybde (m)
A	35	Lillebælt	9° 55,28' Ø	55° 4,53' N	25
B	38	Stevns	12° 15,66' Ø	55° 11,97' N	11
B	103	Hjelm	10° 43,95' Ø	56° 6,78' N	10
B	104	Anholt	11° 12,13' Ø	56° 55,57' N	12
C	201	Horns Rev	7° 35,1' Ø	55° 41,4' N	15
C	202	Gule Rev	8° 24,1' Ø	57° 18,7' N	35

Stationerne roteres imellem overvågningsår efter mønsteret: A) overvågning hvert år, B) på skift hvert tredje år, C) på skift hvert andet år. Stationsnumre under 100 stammer fra BIAS projektet (Mustonen *et al.*, 2019) og er fastholdt. Øvrige stationsnumre er unikke for støjovertvågningen: 1xx i Kattegat, 2xx i Nordsøen/Skagerrak.

4.2 Udstyr

Der er anvendt tre typer af dataloggere i overvågningsprogrammet: SM2M (Wildlife Acoustics, Boston), ST500HF og ST600HF (begge Ocean Instruments, New Zealand). Selvom dataloggerne adskiller sig i konstruktionen, fungerer de grundlæggende ens og leverer målinger i overensstemmelse med standarder fra den danske tekniske anvisning samt HELCOM-vejledninger (HELCOM, 2018; Tougaard, 2019; HELCOM, 2021). De primære forskelle mellem dataloggerne ligger i hukommelseskapaleteten (som stiger fra SM2M til ST500HF og ST600HF) samt batterilevetiden (som også øges fra SM2M til ST500/600HF). Disse forskelle har muliggjort, at driftscyklussen gradvist er blevet justeret fra 50 % (30 minutters optagelse hver time) til næsten 100 % (59 minutters optagelse hver time), samtidig med at båndbredden er blevet udvidet fra 20 kHz til 40 kHz eller mere.

Dataloggerne blev placeret med hydrofonen vendt opad i vandsøjlen, cirka 3 meter over havbunden. Udstyret blev fastgjort til et anker bestående af to jutesække fyldt med granitskærver. Mellem ankeret og dataloggeren var anbragt en akustisk styret udløsermekanisme (Sonardyne LRT, U.K. eller SubSeaSonic Release system), som kan frigøre loggeren fra stensækkene ved hjælp af en kodet lydkommando fra overfladen. Jutesækkene og hamperebet efterlades på bunden, da de er bionedbrydelige. Ved opsætningen med SM2M loggeren blev der placeret en trawlkugle mellem den akustiske udløser og dataloggeren for at give ekstra opdrift. For ST500 og ST600 loggerne blev trawlkuglen placeret ovenfor loggeren, som desuden var indlejret i et flamingobøjeflåd for at sikre yderligere opdrift. Se opsætningerne i Figur 4.2.

Figur 4.2. Eksempel på opsætningen af de to typer af målestationer. Venstre: Opsætning med ST500/ST600 dataloggere. Højre: Opsætning med SM2M dataloggeren.



4.2.1 SM2M dataloggeren

SM2M dataloggerens hydrofon (HTI96min) har en følsomhed på -164 dB re $1\text{V}/\mu\text{Pa}$. Dataloggeren optager lyden digitalt (16 bit, sampling rate: 32 ksamples/s) og gemmer optagelserne som ukomprimerede wav-filer på SD-hukommelseskort (128 GB, med 1-4 kort per datalogger). Med en driftscyklus på 50 % optager SM2M loggeren i 30 minutter hver time. Under disse indstillinger har denne type logger en optagetid på omtrent 3 måneder, som er begrænset af batterilevetiden. SM2M dataloggeren er udgået af produktion og er siden 2020 ikke længere anvendt i det danske overvågningsprogram.

4.2.2 ST500 dataloggeren

ST500 dataloggerens hydrofon har en følsomhed på -158 dB re $1\text{V}/\mu\text{Pa}$. Den optager lyden digitalt (16 bit, sampling rate: 96 ksamples/s) og gemmer optagelserne som komprimerede datafiler i intern hukommelse samt på op til 3 mikro-SD hukommelseskort. I alt kan der lagres op til 1 TB komprimeret data. ST500 loggerne optager kontinuerligt, og ifølge producentens oplysninger

kan denne type logger optage data i omkring 4 måneder, hvilket er begrænset af batterilevetiden.

De ST500 dataloggere, der blev anskaffet til overvågningen, har dog haft tekniske problemer, herunder skader på en hydrofon og fejl i elektronikken, hvilket har medført betydelige datatab. Derfor er de siden 2022 blevet udfaset fra overvågningsprogrammet og erstattet af den nyere og forbedrede model, ST600. En enkelt ST500 datalogger, som har fungeret uden problemer, er stadig bevaret som reserveudstyr.

4.2.3 ST600 dataloggeren

ST600 dataloggeren ligner ST500, men er udstyret med en indbygget hydrofon og har en mere robust konstruktion. Desuden er de firmware-fejl, der har forårsaget problemer og datatab i ST500-udlæggerne, blevet udbedret i ST600 modellen. Dataloggeren optager lyden digitalt (16 bit, samplingrate: 96 ksamples/s) og gemmer optagelserne som komprimerede datafiler på op til 4 mikro-SD hukommelseskort. Der kan således lagres op til 2 TB komprimeret data i alt. ST600 dataloggerne brugt i dette studie har et klipniveau (maksimalt lydniveau, der kan optages) på 175 (± 3 dB) dB re 1 μ Pa. ST600 loggerne optager kontinuerligt, og ifølge producentens oplysninger kan denne type logger optage data i cirka 6 måneder, hvilket er begrænset af batterilevetiden. ST600 er den foretrukne datalogger til overvågningen, og de øvrige loggere anvendes kun, hvis der ikke er en ST600 ledig på udlægstidspunktet.

4.3 Basal dataanalyse

Målingerne blev analyseret ved hjælp af en Matlab-rutine (R2017b, Mathworks), udviklet i overensstemmelse med HELCOM's specifikationer (HELCOM, 2021) samt den tekniske anvisning for vedvarende undervandsstøj (Tougaard, 2019). For at sikre kvaliteten af rutinen blev den kalibreret i forhold til en Matlab-rutine, udviklet af Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI, i Stockholm som en del af BIAS-projektet (Baltic Sea Information on the Acoustic Soundscape). BIAS-standarden kan findes i Betke *et al.* (2015). Hver datafil, på 30-59 minutter, blev opdelt i 1-sekunds blokke uden overlap. For hver blok blev det totale lydtryk (L_{eq} , rms-gennemsnittet over 1 sekund) samt lydtrykket inden for decidekade-båndene ($L_{63,1s}$, $L_{125,1s}$ og $L_{2000,1s}$) beregnet. $L_{63,1s}$, $L_{125,1s}$ og $L_{2000,1s}$ blev udregnet som summen af effekttæthedsspektret ved hjælp af en fast Fourier transform (FFT) algoritme, Hann-vægtet, med 32000 eller 96000 punkter for henholdsvis SM2M og ST500/ST600. Baseret på værdierne for hver 1-sekunds periode blev percentilerne L_5 , L_{10} , L_{25} , L_{50} (median), L_{75} , L_{90} og L_{95} beregnet over længere perioder f.eks. som månedlige percentiler. L_5 repræsenterer det lydniveau, der kun overskrides 5 % af tiden og er dermed et mål for de kraftigste lyde i måleperioden, mens L_{95} angiver det niveau, som overskrides 95 % af tiden, hvilket gør det til et mål for det laveste støjniveau på målestationen. På tilsvarende vis repræsenterer L_{10} , L_{25} , L_{50} , L_{75} og L_{90} lydniveauer, som overskrides henholdsvis 10, 25, 50, 75 og 90 % af tiden.

Dataanalysen i overvågningsprogrammet er blevet udvidet i overensstemmelse med retningslinjerne fra Interreg-projektet JOMOPANS (Ward J, 2021) og omfatter nu alle decidekadebånd mellem 20 Hz og 20 kHz. Ændringerne implementeres for at optimere processen med kvalitetskontrol af data, lette upload af analyserede data til HELCOM's database for vedvarende støj (hos ICES) samt muliggøre dataekstraktion til videre analyse.

4.4 Tendensanalyse

For at bestemme tendenser i støjniveauer gennem tid, anvendte vi Generaliserede Additiv Mixed-Modeller (GAMM) på data fra alle stationer separat. Analysen blev udført i R (v4.4.2) med pakken mgcv (Wood, 2017) til at korrelere støjdata over tid.

Ugentlige fraktiler (overskridelsesniveauer) blev beregnet for decidekadebåndene ved 63 Hz, 125 Hz, 500 Hz, og 2 kHz. 63 Hz og 125 Hz stammer fra EU's havstrategidirektiv, imens 500 Hz og 2000 Hz er supplerende bånd, anvendt i HELCOM, som beskriver støjen i frekvensområder, der er relevante i forhold til havpattedyrs hørelse. For at undersøge tendenser, testede vi medianen (50% fraktilen, L_{50} , det niveau, der blev overskredet 50% af tiden) for hvert frekvensbånd (E_{L_Band}) ved hjælp af følgende formel:

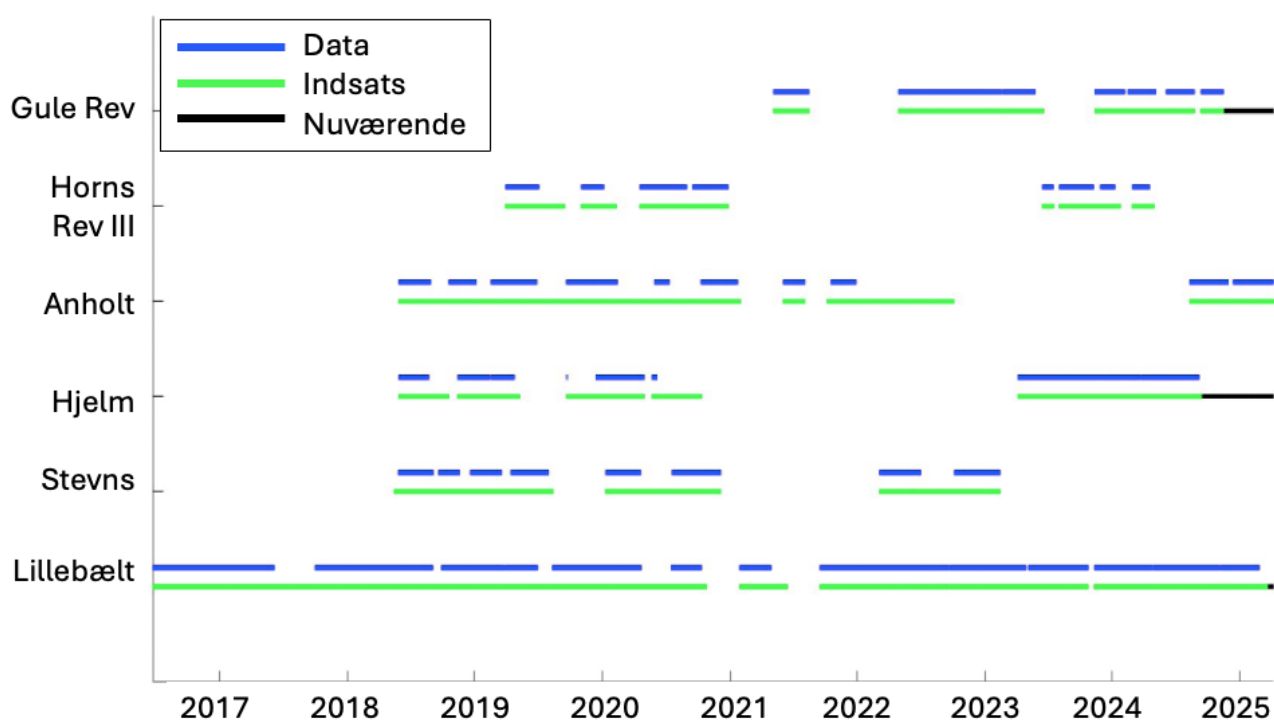
```
gammm( $E_{L\_Band} \sim s(nTime, k=6)$ , correlation = corAR1(form= $\sim 1 | nWk$ ), family=gaussian())
```

Den forklarende variabel ($nTime$), den numeriske dato og tid for hver fraktil blev tilpasset dataene med en udglatningsfunktion for at forklare, om og hvordan støj tendenser ændrede sig gennem overvågningsperioden. En korrelationsfaktor for uge-på-året (nWk) blev også inkluderet for at informere gamm-modellen om, at ikke kun de ugentlige intervaller, der ligger tæt på hinanden, er korrelerede, men også på tværs af årene i kraft af sæsonbestemte variationer: Således forventes støjniveauet i uge 22 i 2016 at korrelere med niveauet i uge 22 i 2017 og fremdeles. nWk blev beregnet med den pågældende uge i året (1-52). Denne model antog en Gaussisk fordeling, som er passende for kontinuerlige støjmålinger, med en begrænset k-værdi for at forhindre overfitting af modellen. Residualer var normalfordelte og uden overdispersion.

5 Resultater

5.1 Indsamlede data

I 2024 blev data indsamlet på stationerne Lillebælt, Hjelm, Anholt, Horns Rev og Gule Rev. Dataindsamlingen forløb uden tab af udstyr og stort set uden tab af data. Perioder, hvor udstyr har været udlagt og data indsamlet fremgår af Figur 5.1.



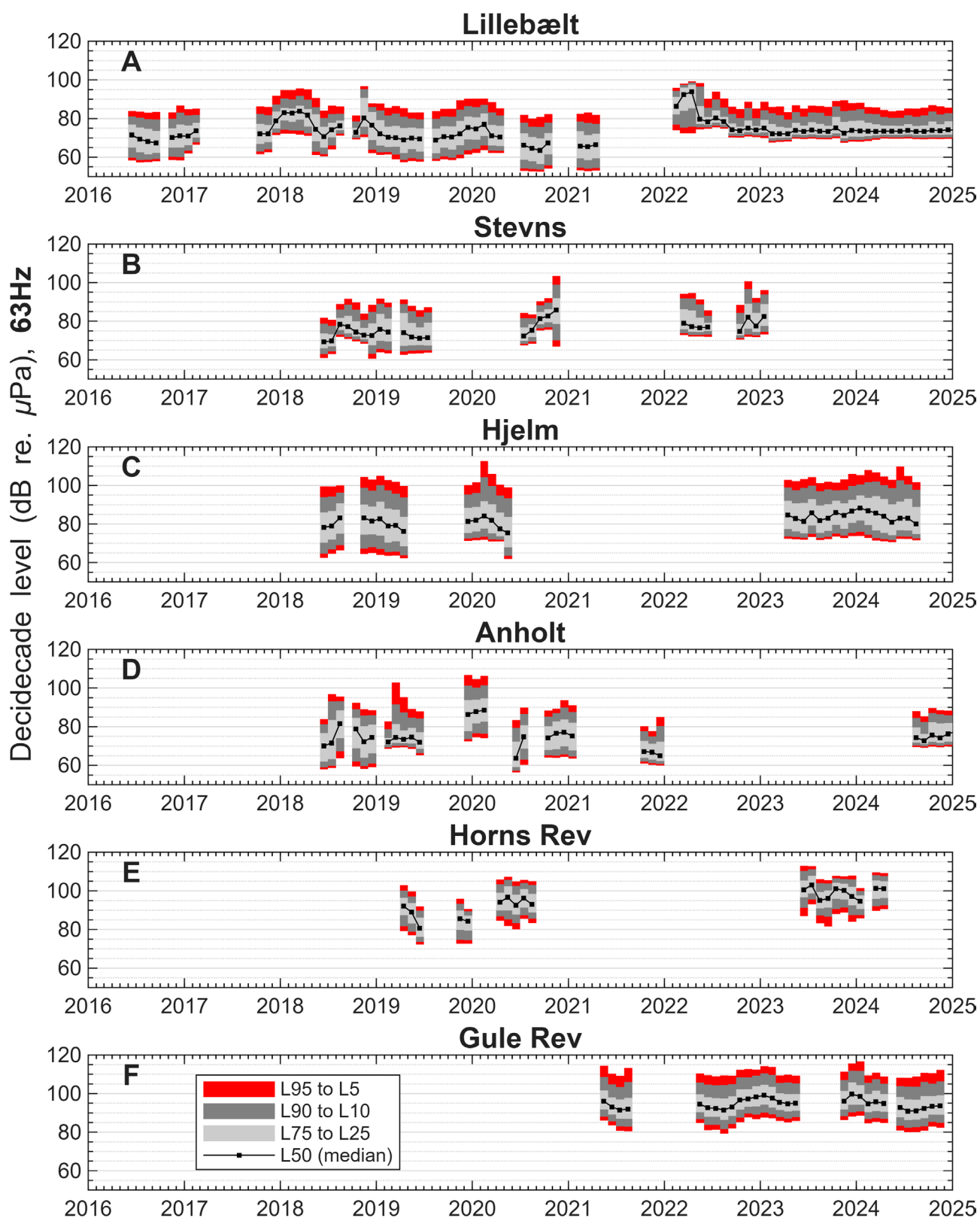
Figur 5.1. Oversigt over perioder med udlagt måleudstyr og indhentede data. Grønne linjer indikerer, at udstyr var udlagt på målestationen, blå linjer at udlægningen resulterede i brugbare data. Sorte linjer indikerer en igangværende udlægning, hvor det således endnu ikke vides om indsamlingen bliver succesfuld.

5.2 Basal dataanalyse

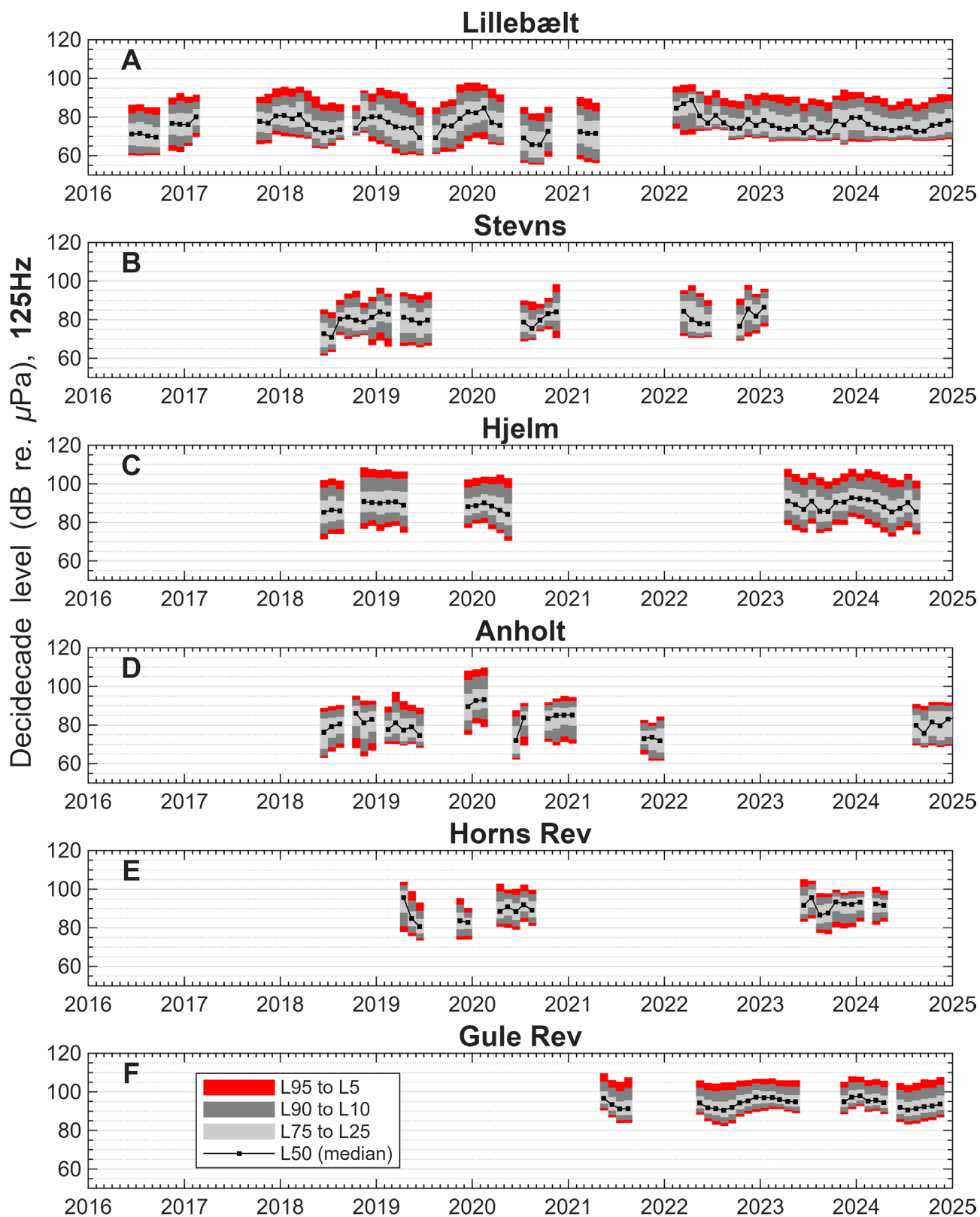
Figur 5.2, 5.3 og 5.4 herunder viser tidsserier af de data, der er kvalitetssikrede og analyserede i de tre udvalgte frekvensbånd (63, 125 og 2000 Hz) siden overvågningens begyndelse i 2016. Figurene viser støjfraktiler per måned (L_5 , L_{10} , L_{25} , L_{50} , L_{75} , L_{90} og L_{95}), hvor måneder med meget lidt data er ekskluderet fra figuren efter følgende kriterier: Månedlige niveauer skal indeholde data fra minimum 7 optagedage med mindst 6 timers optagelse per dag og en samlet månedlig optagetid på mindst 84 timer. På grund af disse kriterier viser figur 5.2-5.4 nogle steder huller i data, selvom det fremgår af figur 5.1 at data er indsamlet i perioden. Al data er indberettet til HELCOM og OSPAR's fælles database for vedvarende lavfrekvent støj hos ICES.

Den længst kørende station er Lillebælt (9 år), men også Hjelm og Anholt har samlet data periodevist hen over en betydelig årrække (7 år). Hvor der er sammenhængende målinger, kan sæsonvariation i støjniveauer (L_5 - L_{95}) observeres (særligt tydeligt i Lillebælt og Gule Rev). Ved 63 Hz-båndet i det relativt stille Lillebælt ses sæsonvariationen ikke fra midten af 2022 og frem. Dette formodes at skyldes at målingerne er begrænset af "selvstøj" fra ST600-logge-

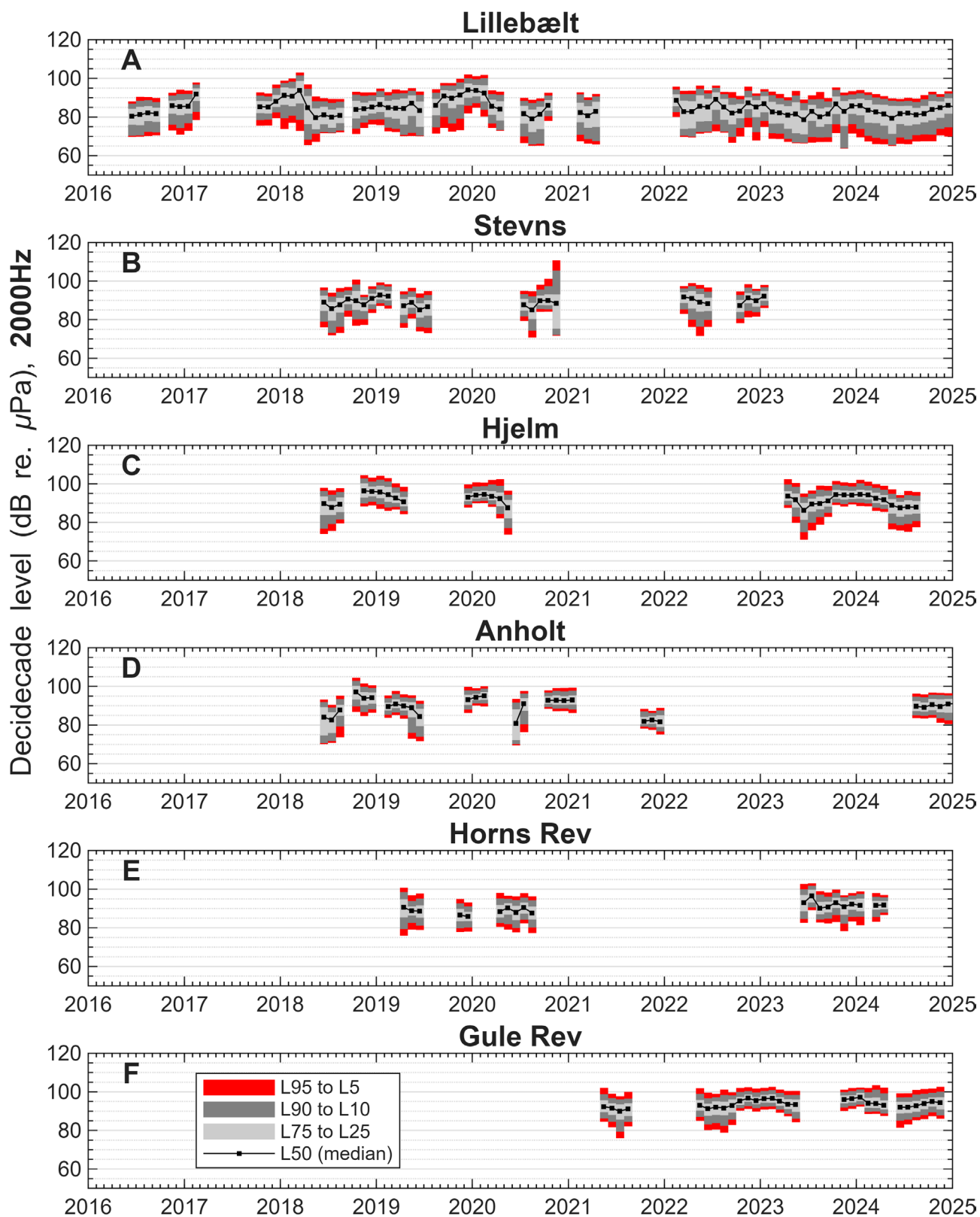
ren, altså elektrisk støj fra måleudstyret, som fremgår af lydoptagelserne. Generelle forskelle i støjniveauer er desuden tydelige imellem stationerne, hvor Horns Rev og Gule Rev ligger højest og Lillebælt lavest. Det bemærkes i øvrigt at nogle stationer har stor forskel imellem L_{95} og L_5 (f.eks. Hjelm), imens andre har mindre spænd imellem lave og høje støjniveauer (f.eks. Horns Rev).



Figur 5.2. Månedlige fraktiler (L_5 , L_{25} , L_{50} , L_{75} og L_{95}) for 63 Hz decade-båndet.



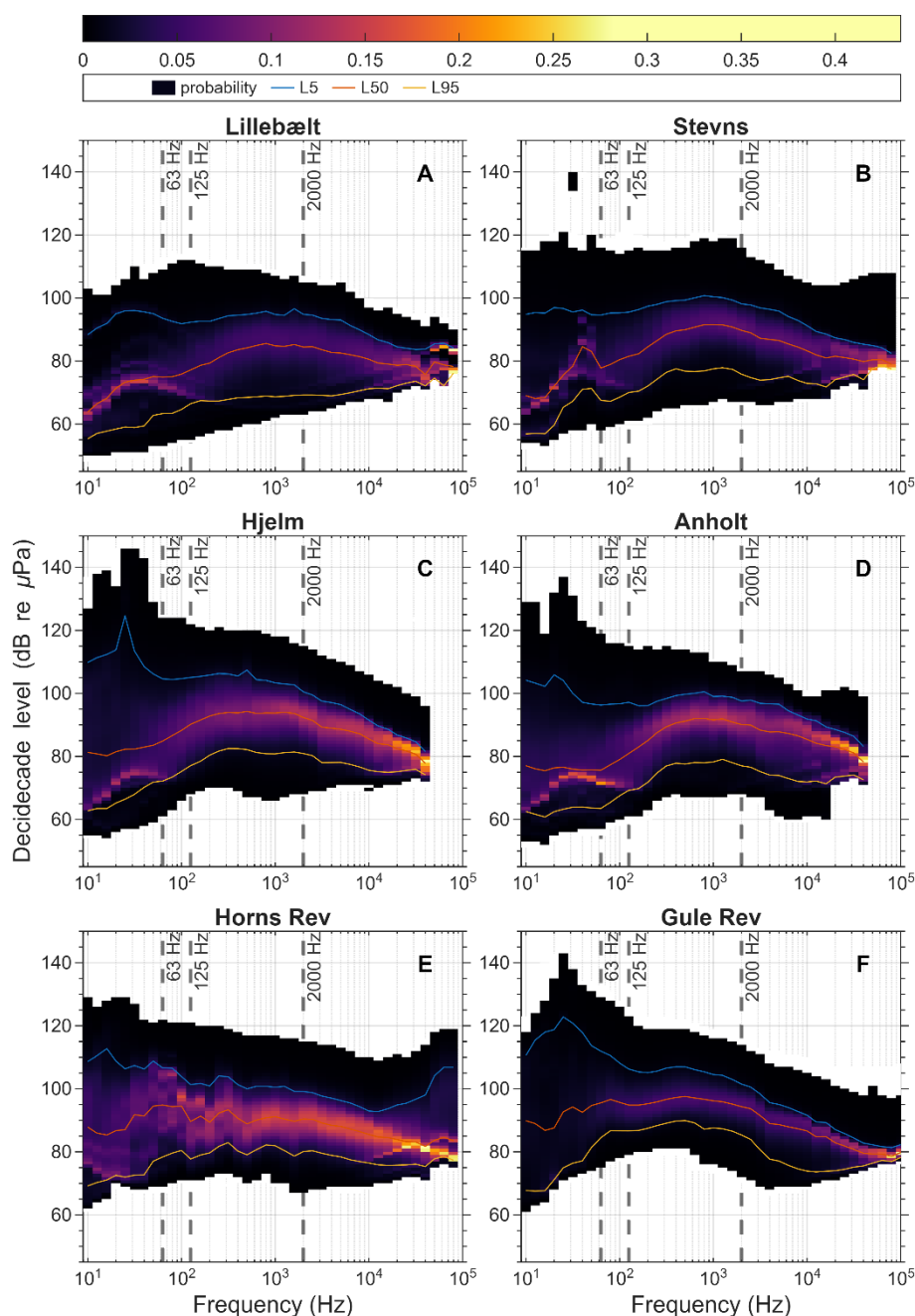
Figur 5.3. Månedlige fraktiler (L_5 , L_{25} , L_{50} , L_{75} og L_{95}) for 125 Hz decidekade-båndet.



Figur 5.4. Månedlige fraktiler (L_5 , L_{25} , L_{50} , L_{75} og L_{95}) for 2000 Hz decadelevel-båndet.

Figur 5.5 viser frekvensspektra (fordelingen af frekvenser og lydniveauer) ved de forskellige målestationer, og kan betragtes som stationernes lydmæssige fingeraftryk. Heri indgår data fra alle stationernes overvågningsår. Lillebælt-stationen har de laveste støjniveauer, efterfulgt af Stevns. Dette forklares af afstanden til større skibsruter fra målestationerne, hvor særligt Lillebælt-stationen ligger afskærmet. Hjelm, Anholt, og særligt Horns Rev og Gule Rev-stationerne ligger nærmere skibsruterne, hvilket afspejles i f.eks. den nedre femte percentil (L_{95}), som repræsenterer den øvre grænse for de 5 % mest stille minutter: Mellem 63 og 2000 Hz er nederste femte percentil (L_{95}) ved Gule Rev nogenlunde svarende til medianen ved Lillebælt og Stevns.

Figur 5.5. Frekvensspektra af støjen ved de forskellige målestationer. Decidekadeniveauerne er i denne figur opgjort over 1-minuts tidsintervaller. Farveskalaen angiver fordelingen af energi indenfor de enkelte decidekadebånd i en tæthedsfunktion. Sort angiver 0 % med stigende sandsynlighed (tæthed) mod den lyse gule. Den røde linje angiver medianen, imens den blå og gule linje angiver henholdsvis øverste og nederste femte percentil. For C) og D) dækker frekvensspektret ikke til lige så høje frekvenser som ved de øvrige stationer. Dette skyldes at det anvendte måleudstyr ved Hjelm og Anholt ikke har haft en lige så høj samplingrate (målepunkter per sekund) og dermed ikke har kunne påvise støj ved lige så høje frekvenser. For alle stationer dækker decidekadeniveauerne langt over de krævede 20 Hz - 20 kHz.

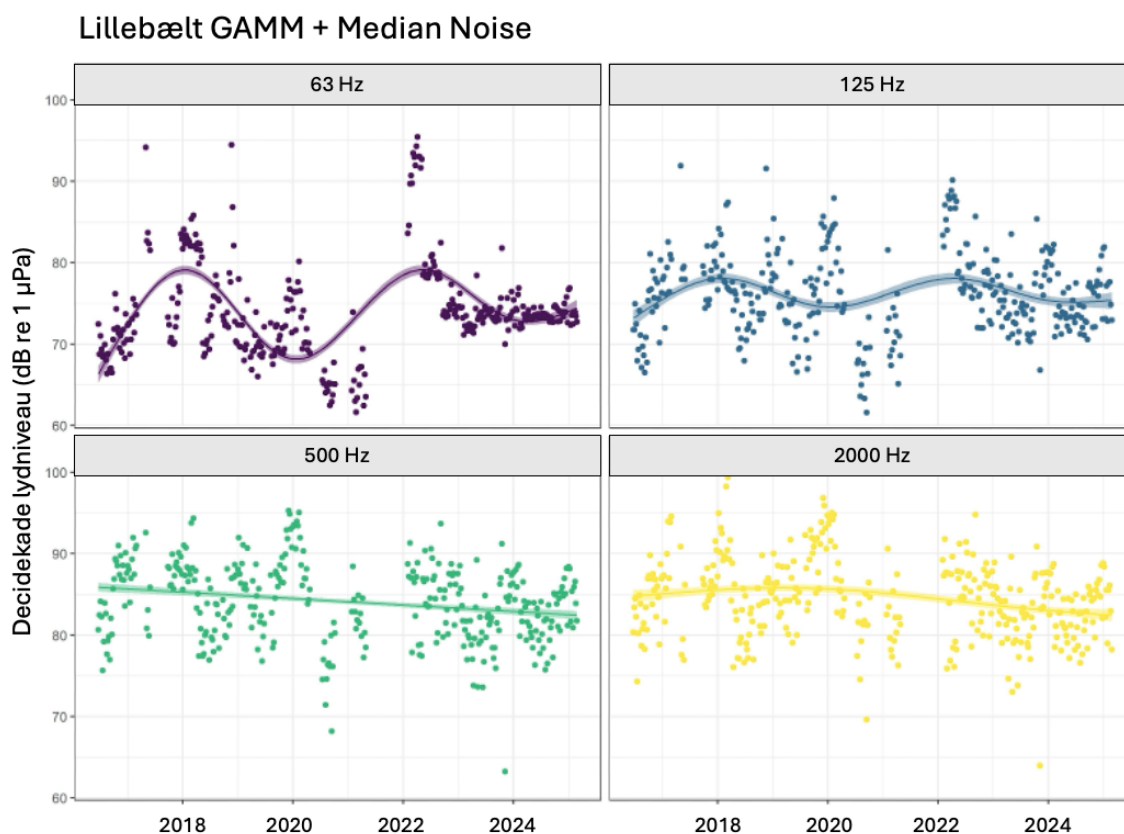


5.3 Tendensanalyse

Målinger fra alle stationer med data fra mere end fire år blev undersøgt for tidsmæssige udviklinger af støjniveauer. Således blev kun Horns Rev udelukket fra analysen. Der er kun data fra fire år ved Gule Rev, men da data er mere konsistente og dækker årene mere jævnt, kan medianstøjniveauerne alligevel modelleres. I figur 5.6-5.10 nedenfor er plottet modellerede median-støjniveauer sammen med de målte støjniveauer for at tydeliggøre eventuelle tendenser. For alle stationer er der forskelle imellem de undersøgte decidekadebånd. For målingerne ved Lillebælt ses ikke en tydelig tendens for medianstøjniveauet for 63 og 125 Hz, om end en svagt faldende tendens ses for 500 og 2000 Hz (mindre end 5 dB). Målingerne ved Stevns viser en stigende tendens ved de lavere frekvensbånd (omtrent 5 dB eller mindre), men ikke en tydelig tendens for 500 og 2000 Hz. Målingerne ved Hjelm viser ligeledes en svagt stigende tendens ved 63 Hz, men ikke en tydelig tendens ved øvrige frekvensbånd. Målingerne ved Anholt viser mere variation imellem årene, og ikke nogen tydelig tendens for nogen af de undersøgte frekvensbånd. Målingerne fra Gule Rev viser ikke nogen tydelig tendens, men det bemærkes at der ikke forventes en tydelig tendens for en så begrænset årrække (fire år).

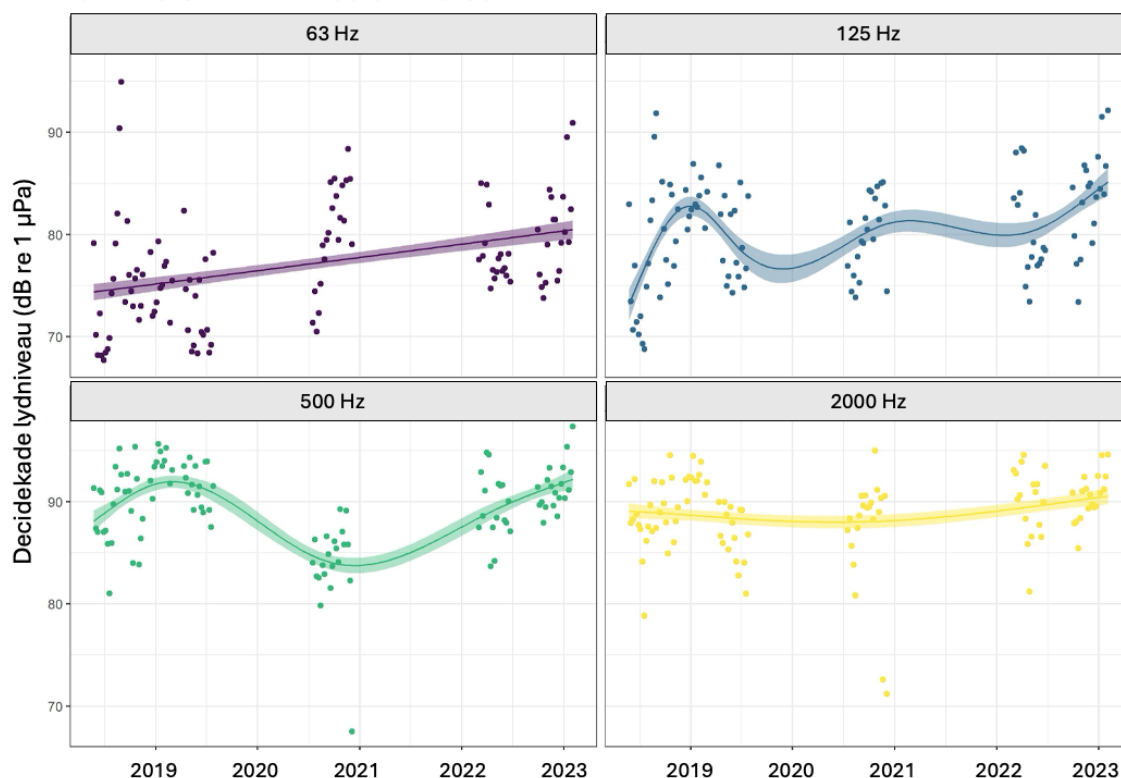
5.3.1 Konklusion og usikkerhed

Målinger fra Stevns og Hjelm viser stigende tendenser i støjniveauer ved lavere frekvenser. Det fremgår dog af de målte data, at variationer hen over året er større end de tendenser der nogle steder ses. Hvornår der er målt på året, kan derfor have stor effekt på eventuelle modellerede tendenser, når tidsserierne ikke er længere. Konklusionerne omkring tendenser i støjmålingerne er således behæftet med nogen usikkerhed.



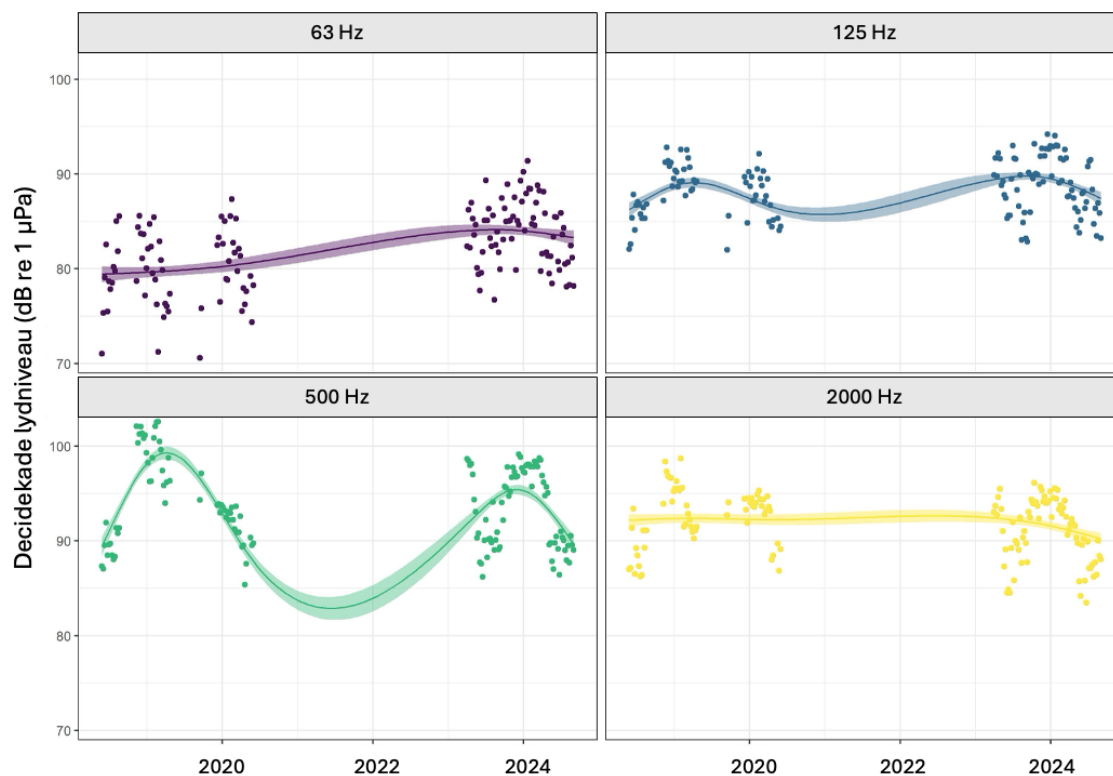
Figur 5.6. Tendensanalyse Lillebælt. GAMM-resultater (linje med standardfejl) plottet med ugentligt målte median støjniveauer (punkter).

Stevns GAMM + Median Noise



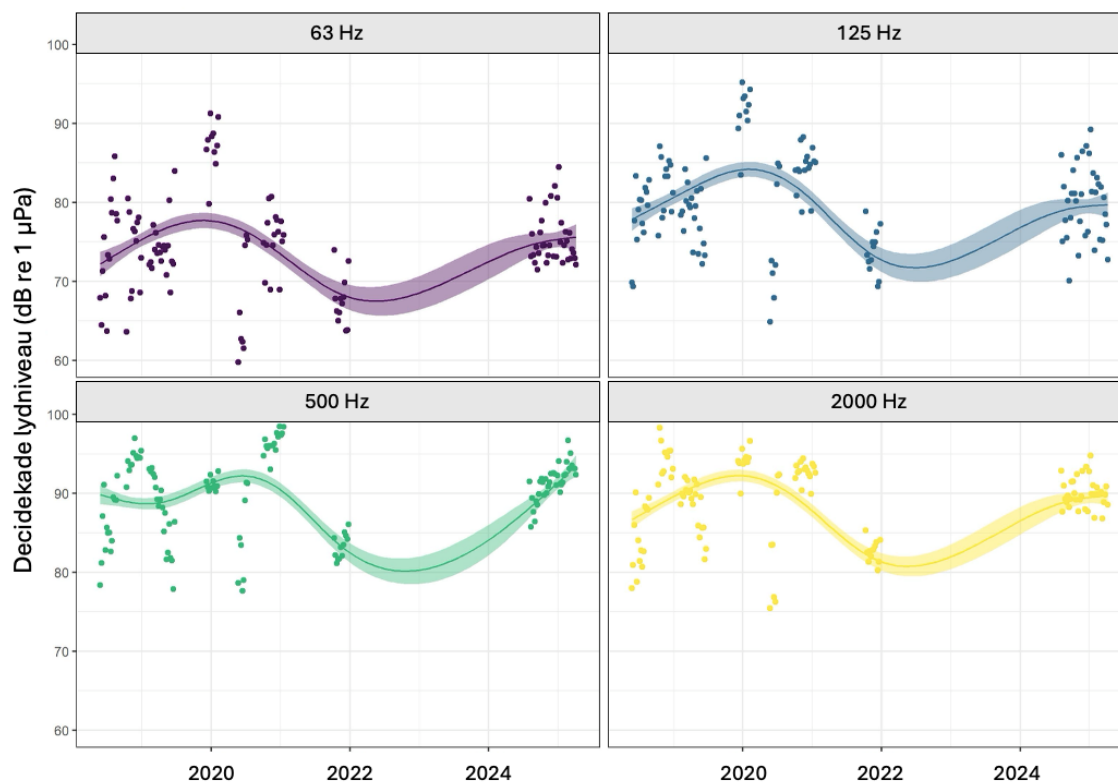
Figur 5.7. Tendensanalyse for målinger ved Stevns. GAMM-resultater (linje med standardfejl) plottet med ugentligt målte median støjniveauer (punkter).

Hjelm GAMM + Median Noise



Figur 5.8. Tendensanalyse for målinger ved Hjelm. GAMM-resultater (linje med standardfejl) plottet med ugentligt målte median støjniveauer (punkter).

Anholt GAMM + Median Noise



Figur 5.9. Tendensanalyse for målinger ved Anholt. GAMM-resultater (linje med standardfejl) plottet med ugentligt målte median støjniveauer (punkter).

Gule Rev GAMM + Median Noise



Figur 5.10. Tendensanalyse for målinger ved Gule Rev. GAMM-resultater (linje med standardfejl) plottet med ugentligt målte median støjniveauer (punkter).

6 Referencer

Betke, K., Folegot, T., Matuchek, R., Pajala, J., Persson, L., Tegowski, J., Tougaard, J., and Wahlberg, M. (2015). "BIAS standards for signal processing. Aims, processes and recommendations. Amended version," (Stockholm).

Commission, T. E. (2017). "Commission Decision (EU) 2017/848 of 17 May 2017 laying down criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters and specifications and standardised methods for monitoring and assessment, and repealing Decision 2010/477/EU."

Council, E. P. a. (1992). "Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora."

Council, E. P. a. (2008). "Directive 2008/56/EC of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive)."

Dekeling, R. P. A., Tasker, M.L., Van der Graaf, A.J., Ainslie, M.A., Andersson, M.H., André, M., Borsani, J.F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S.P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., Werner, S., Wittekind, D., Young, J.V. (2014). "Monitoring Guidance for Underwater noise in European seas. Part II: Monitoring Guidance Specifications," in *JRC Scientific and Policy Reports* (European Commission, Luxembourg).

Fischer, J.-G., Kühnel, D., Basan, F. (2021). "JOMOPANS measurement guidelines. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS)."

HELCOM (2018). "HELCOM Guidelines for monitoring continuous noise," (HELCOM secretariat, Helsinki), p. 9.

HELCOM (2021). "HELCOM Guidelines for monitoring continuous noise. (Updated HELCOM Guidelines as noted by State & Conservation 14-2021)," (Helsinki).

HELCOM (2023). "Continuous low frequency anthropogenic sound," HELCOM core indicator report.

Mustonen, M., Klauson, A., Andersson, M., Clorennec, D., Folegot, T., Koza, R., Pajala, J., Persson, L., Tegowski, J., Tougaard, J., Wahlberg, M., and Sigray, P. (2019). "Spatial and Temporal Variability of Ambient Underwater Sound in the Baltic Sea," *Scientific Reports* **9**, 13237.

Robinson S, W. J., Wang L, Crawford N. (2021). "Standard for equipment performance, calibration and deployment. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (Jomopans)."
Tougaard, J. (2019). "Kontinuerlig undervandsstøj. Teknisk anvisning M32," (DCE/Aarhus Universitet, Roskilde).

Tougaard, J., Ladegaard, M., Griffiths, E. & Marcolin, C. (2023). "Vurdering af tilstanden i de danske havområder for havstrategidirektivets deskriptor 11. Kriterierne D11C1 impulsstøj og D11C2 vedvarende lavfrekvent støj," p. 92.

Ward J, W. L., Robinson S, Harris P (2021). "Standard for Data Processing of Measured Data. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (Jomopans)."

Wood, S. N. (2017). *Generalized additive models: an introduction with R* (Chapman and Hall/CRC.).

Appendix

Dette appendix opridser igangværende og nyligt afsluttede projekter ved DCE/ECOS, som er i synergi med den danske overvågning af undervandsstøj; altså hvor havstrategiens overvågningsdata har bidraget til relevante projekter, og/eller hvor andre projekter har bidraget med data til overvågningen, litteraturstudier, metodeudvikling eller på anden måde bidraget til opfyldelsen af havstrategiens forpligtelser. Målet med oversigten er at sætte overvågningsprogrammet ind i en større sammenhæng og tydeliggøre dual use og synergi med øvrige projekter.

A.1 JOMOPANS

JOMOPANS var et Interreg-projekt, der udviklede et fælles overvågningsprogram for undervandsstøj i Nordsøen, tæt koblet til OSPARs overvågningsprogrammer. Målet var at give myndigheder og planlæggere værktøjer til at vurdere og forbedre havmiljøets tilstand ved at tage højde for støjpåvirkninger. Projektet blev gennemført fra 2018 til 2021 og involverede partnere fra alle Nordsølande. Fokus var på både naturlige og menneskeskabte lydkilder og deres indvirkning på havets dyreliv.

DCE/AU var partner i projektet, og bidrog med ekspertise og akustisk data fra overvågningen i Nordsøen. Projektet leverede datagrundlaget for OSPAR's tilstandsvurdering for vedvarende undervandsstøj i Nordsøen, og dermed Danmarks miljøtilstandsvurdering i regi af havstrategidirektivet (Havstrategi III, 2025) og de standarder for kalibrering, opsætning og udlægning af måleudstyr, samt kvalitetssikring og analyse af måledata der i dag danner grundlaget for tilsvarende standarder i HELCOM og OSPAR og dermed også det danske overvågningsprogram

JOMOPANS. (2021). *Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea*. <https://northsearegion.eu/jomopans>

N. Crawford, S. Robinson and L. Wang (2018). *JOMOPANS Standard procedure for equipment performance, calibration and deployment*. Interreg North Region Programme. National Physics Laboratory, London.

L. Wang, J. Ward and S. Robinson (2019). *JOMOPANS Standard for Data Processing of Measured Data*. Interreg North Region Programme. National Physics Laboratory, London.

A.2 Ekkolod og sonar som presfaktor

Miljøministeriets departement rekvirerede i 2022 et pilotprojekt med indledende undersøgelser af presset fra ekkolod og sonar fra skibsfarten. Analyserne blev lavet på eksisterende data fra overvågningen af vedvarende lavfrekvent undervandsstøj og bidrog til implementeringen af HELCOM's regionale handlingsplan for undervandsstøj og gav viden om potentielle huller i tilstandsvurderingerne mht. undervandsstøj.

Tougaard, J., Griffiths, E.T., Ladegaard, M., Marcolin, C., Kyhn, L.A. og Sveegaard, S. 2023. Ekkolod og sonar som presfaktor. Foreløbige resultater af et pilotprojekt. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 12 s. - - [Fagligt notat nr. 2023 | 2](#)

A.3 Undervandsstøj i Aarhus Bugt

Projektet udføres af DCE/ECOS og AU/Biologi i samarbejde og er støttet fra Aage V. Jensen Naturfond. Målet med projektet er at kortlægge naturlig baggrundsstøj og menneskeskabt støj i Århusbugten og i samarbejde med myndigheder, borgere, bådere mm. at udvikle et udkast til en forvaltningsplan for Århus Bugt. Projektet anvender overvågningsdata fra Hjemmestation, men vil også indsamle store mængder måledata fra stationer i Århusbugten. Disse målinger vil kunne indgå i overvågningsprogrammet, herunder især kortlægning af betydningen af småbåde og vil under alle omstændigheder bidrage med forbedrede analysemetoder og fladedækkende modellering af bådstøj. Projektet er en del af "Kend Dit Hav": <https://projekter.au.dk/havet/fascinerende-forskning>

A.4 Strategisk Miljøvurdering Nordsøen I Havvind

I forbindelse med forundersøgelserne i et nyt område udlagt til havvind, Nordsøen I, har EnerginetDK rekvireret en strategisk miljøvurdering og en række miljøundersøgelser fra NIRAS og DCE/ECOS. Som en del af undersøgelserne er der foretaget omfattende støjmålinger i området og fladedækkende modellering af undervandsstøjen, opdelt i separate bidrag fra fragtskibe, havvindmøller og serviceskibe til havvindmøller. Kvalitetssikrede og analyserede måledata er anvendt til at forbedre modelleringsværktøjer og måledataene lægges op i ICES undervandsstøjdatabase, og kan således indgå i grundlaget for kommende regionale støjkort i regi af OSPAR og derigennem understøtte den kommende danske tilstandsvurdering ift. undervandsstøj. Et andet væsentligt bidrag fra projektet er en detaljeret karakterisering af støjproduktionen under vand for to moderne typer af vindmøller, information der hidtil ikke har været tilgængelig og som vil kunne indgå direkte til at opfylde Danmarks bidrag til HELCOMs regionale handlingsplan for undervandsstøj.

A.5 Kortlægning af potentialet for udbygning af havvind i Danmark

Projektet er rekvireret af Energistyrelsen og udføres af DCE/ECOS i samarbejde med NIRAS A/S og andre partnere. Projektet har til formål at kortlægge miljøkonsekvenserne ved storskala udbygning af havvind i Danmark. I projektet indgår kvantificering af den øgede belastning med undervandsstøj som driften af et større antal havmølleparker vil give. Arbejdet er foregået ved DCE/ECOS og bidrager med opdaterede støjkort over samtlige danske havområder, der i modsætning til de eksisterende støjkort fra HELCOM og OSPAR også indeholder bidrag fra havmølleparkerne og som derfor vil være et værdifuldt bidrag til kommende tilstandsvurderinger.

A.6 Projekter udført i samarbejde med Mærsk, senere Total Energies

DCE/ECOS har gennem årene gennemført en række projekter finansieret af Mærsk, senere Total Energies, der har bidraget med store mængder måledata fra den centrale Nordsø og detaljeret viden om støjledning fra produktionsplatforme, olieeftersøgning og andre aktiviteter. Målingerne kan indgå som datagrundlag for kommende statusvurderinger for Nordsøen (OSPAR Intermediate Assessment 2029).

A.7 TANGO

Projektet blev understøttet af EUs Hav, Fiskeri og Akvakulturfond og andre eksterne kilder. Det blev gennemført af DCE/ECOS i samarbejde med FOI, Stockholm og har bidraget med betydelig viden om effekten af den vigtigste skibsrute gennem danske farvande (T-ruten) på omfanget af undervandsstøj i Kattegat. Måledata fra projektet er anvendt i både OSPAR og HELCOMs seneste statusvurderinger (Quality Status Report, QSR23 og Holistic Assessment, HOLAS 3).

A.8 DEMASK

Projektet er finansieret af EU Interreg Nordssøen. Danmark er ikke partner i projektet, men DCE/ECOS deltager som observatør og bidrager med måledata fra overvågningsprogrammet i Nordsøen. Formålet med projektet er at tilvejebringe opdaterede støjkort for Nordsøen (OSPAR's område 2) til brug for den næste statusvurdering (Intermediate Assessment 2029).

A.9 Anvendeligheden af fiberoptiske kabler til støjovervågning

Projektet er finansieret af MST og udføres af DCE/ECOS i samarbejde med GEUS. Formålet med pilotprojektet er at undersøge om der er potentiale i at anvende en såkaldt DAS-interrogator på fiberkabler på havbunden til at måle skibsstøj og derved afsøge om sådanne data kan indgå i overvågningsprogrammet som supplement til data indsamlet fra de akustiske målestationer.

A.10 Småbådes bidrag til undervandsstøj i kystnære farvande

Projektet er finansieret af MST og udføres af DCE/ECOS i samarbejde med AU/Biologi. Formålet med projektet er at teste og sammenligne forskellige metoder til at kvantificere den del af undervandsstøjen i kystnære farvande, der stammer fra mindre fritidsbåde, der ikke har en AIS-sender og dermed ikke indgår i de nuværende modellerede støjkort. Udviklingen af metoder til at inkludere de små både er en afgørende forbedring af statusvurderingerne og indgår som et dansk bidrag til HELCOM's regionale handlingsplan for undervandsstøj.

A.11 SATURN

Et nyligt afsluttet projekt finansieret af EU Horizon med deltagere fra hele Europa. Fra Danmark deltog DCE/ECOS og AU/Biologi med afgørende bidrag til fastlæggelse af effektgrænser for undervandsstøj for sæler og marsvin (de såkaldte Levels of Onset of Biological Effects, LOBEs), der indgår som centrale parametre i tilstandsvurderingsmetoderne, som er anbefalet af EU's ekspertgruppe om undervandsstøj, TG-Noise.

A.12 Undervandsstøj i danske farvande

Projektet er finansieret af VELUXfonden og gennemføres af AU/Biologi og DCE/ECOS. Målet med projektet er at bibringe yderligere viden om effekten af skibsstøj på havpattedyr i danske farvande og forbedre metoderne til at kvantificere undervandsstøjen i havmiljøet og vurdere betydningen for havpattedyr. Der vil indgå målinger af undervandsstøj i Natura2000-områder. Disse målinger og konklusionerne fra analyserne vil kunne indgå i overvågningsprogrammet og danne baggrund for inkludering af undervandsstøj i forvaltningsplaner for områderne.

A.13 Seasounds

Et Ph.D.-uddannelsesprojekt finansieret af EU Marie Curie programmet med fokus på samspillet mellem oceanografi/undervandsakustik og biologi i videreudvikling af metoder og værktøjer til tilstandsvurderinger. DCE/ECOS deltager med en undersøgelse af sammenhængen mellem informationen i støjkort anvendt i OSPAR's og HELCOM's seneste tilstandsvurderinger (Quality Status Report, QSR23, og Holistic Assessment, HOLAS 3) og den undervandsstøj som havpattedyr rent faktisk udsættes for – det sidste kvantificeret vha. akustiske dosimetre påsat vilde sæler og marsvin. Graden af robusthed i sammenhængen mellem kort og virkelighed er afgørende for anvendeligheden af kortene i tilstandsvurderingerne og vil derfor være et afgørende bidrag til forbedring af grundlaget for de kommende tilstandsvurderinger.