



Energistyrelsen



Undervandsstøj

Baggrundsnotat

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700

E: ens@ens.dk

www.ens.dk



Miljøovervågning som grundlag for en strategisk og bæredygtig udbygning af havvind i Danmark

Danmark står over for en markant udvidelse af kapaciteten inden for havvindenergi. Som led i den grønne omstilling og målet om klimaneutralitet, planlægges det at etablere en række nye og langt større havvindmølleparker, end tidligere set. Denne udbygning indebærer væsentlige miljømæssige overvejelser, som skal håndteres med omtanke og på et oplyst grundlag.

Energistyrelsen har derfor anmodet NIRAS A/S om at udvikle omfattende og fagligt funderede overvågningsprogrammer for en række centrale miljøparametre. Disse programmer skal bidrage til at skabe et solidt vidensgrundlag og danne et fagligt fundament for fremtidige vurderinger af miljøpåvirkninger fra havvindmølleparker.

Forslag til overvågningsprogram for de udvalgte miljøemner er beskrevet i "datablade" for hvert emne og der er til hvert emne et uddybende "baggrundsnotat". Databladene indeholder konkrete forslag til overvågningsprogrammer, herunder detaljer om antal prøvetagninger, frekvenser og metoder for indsamling af data. Et overvågningsprogram vil altid skulle tilpasses det enkelte projekt, hvorfor de konkrete programmer ikke nødvendigvis følger den fulde metodik i databladene.

Databladene vil løbende og efter behov blive revideret og de nyeste versioner vil være at finde på Energistrelsens hjemmeside.

Produkt: Undervandsstøj - Baggrundsnotat

Udgiver: Energistyrelsen

Billeder og illustrationer: NIRAS A/S

Dato: september 2025

Version: 1.0



1. Undervandsstøj	4
1.1 Naturligt og biotisk skabt undervandsstøj.....	4
1.2 Menneskeskabt undervandsstøj.....	4
1.3 Samlet undervandsstøjbillede	4
2. Faser i effektovervågning	5
2.1 Baseline	5
2.2 Forundersøgelser	5
2.3 Konstruktion	6
2.4 Drift	6
3. Metoder	7
3.1 Målepositioner	7
3.1.1 Baseline	7
3.1.2 Drift	8
3.2 Måleudstyr	8
3.2.1 Baseline	8
3.2.2 Drift	9
3.3 Varighed af målinger.....	9
3.3.1 Baseline	9
3.3.2 Drift	9
3.4 Dataanalyse	10
3.4.1 Baseline	10
3.4.2 Drift	11
4. Referencer.....	14



1. Undervandsstøj

Dette er baggrundsnotatet for databladet til effektovervågning af undervandsstøj. I dette baggrundsnotat gennemgås kilder til undervandsstøj i de forskellige faser af en havvindmøllepark, samt tilgængelige metoder til undervandsstøjmålinger. De anbefalede metoder beskrives og hvorfor de er valgt. Der er lagt vægt på at anvende de metoder, der anbefales af HELCOM (BIAS projektet) der dækker Østersøen og indre danske farvande (Verfuß, et al., 2015), JOMOPANS (Fischer, Kühnel, & Basan, 2021), der dækker Nordsøen, de tyske retningslinjer for undervandsstøjmålinger (BSH, 2011), ISO 18406's angivelser for undervandsstøjmålinger (DS/ISO 18406, 2017) samt relevant faglitteratur på området. Dette er gjort for at sikre sammenlignelighed med eksisterende og kommende data fra undervandsstøjmonitoring.

I dette notat refererer begrebet undervandsstøj bredt til al den lyd der forefindes i danske farvande, uanset kilden. Disse lyde kan være naturlige, som dem der stammer fra marine dyr, eller menneskeskabte, som dem der kommer fra skibe, geofysiske og geotekniske undersøgelser, samt offshore installationer og drift.

1.1 Naturligt og biotisk skabt undervandsstøj

Naturlige og biotiske kilder til undervandsstøj i de danske farvande omfatter primært:

- **Bølger og vind:** En af de mest betydelige naturlige kilder til undervandsstøj er bølger, der bryder på overfladen, og vind, der skaber turbulens i vandet.
- **Regn og hagl:** Nedbør kan også skabe støj under vandet, når dråberne rammer vandoverfladen.
- **Seismisk aktivitet:** Jordskælv og vulkansk aktivitet under vandet kan generere lavfrekvent undervandsstøj.
- **Marine dyr:** Mange marine dyr, såsom hvaler, delfiner og fisk, producerer lyde til kommunikation, navigation og jagt. For eksempel bruger hvaler sang og kliklyde, mens fisk kan skabe lyde ved at gnide deres finner eller ved at "tromme" på deres svømmeblære med specialiserede muskler.

1.2 Menneskeskabt undervandsstøj

Menneskeskabte kilde til undervandsstøj i de danske farvande omfatter primært:

- **Skibstrafik:** En af de største kilder til undervandsstøj er skibstrafik. Motorer, propeller og andre mekaniske dele på skibe skaber støj, der kan forstyrre marine liv.
- **Offshore industri:** Aktiviteter som olie- og gasudvinding samt installation og drift af vindmølleparker bidrager også til undervandsstøjbidraget. Særligt boring, sprængning, forundersøgelser og installation af fundamenter kan skabe betydelig støj.
- **Militære aktiviteter:** Øvelser og brug af sonar fra militære skibe kan også være en kilde til undervandsstøj.
- **Fiskeri:** Brug af forskellige typer fiskeredskaber og fartøjer i fiskeriet kan også bidrage til støjniveauet under vandet.

1.3 Samlet undervandsstøjbidrag

Overordnet set udgøres lydbilledet under vandet af en kombination af de tilstedeværende naturlige, biotiske og menneskeskabte støjbidrag. Det er dog ikke alle kilder der er lige støjende, ligesom forskellige kilder



bidrager til støjbilledet i forskellige frekvensbånd. Faste bidrag ved de lave frekvenser kommer i høj grad fra skibsstøj, seismisk aktivitet og vindstøj. Dertil kommer midlertidige bidrag fra geofysiske og geotekniske undersøgelser, samt installation af fundamenter til både vindmølleindustrien og olie-, gasindustrien. Ved de høje frekvenser domineres lydbilledet af vind, bølger og nedbør, samt af midlertidige undersøgelsesaktiviteter. Det er også ved høje frekvenser der typisk forefindes dyrekald fra de marine pattedyr, men flere af de større hvalarter samt fisk, der anvender lyd kommunikerer ved lave frekvenser.

Undervandsstøj er i høj grad naturligt forekommende, men med tilførslen af menneskeskabt støj, stiger støjniveauet i havene. Det marine dyreliv er i høj grad afhængigt af at kunne bruge lyd til kommunikation og føde-søgning. Når støjniveauet stiger, medfører det således potentielt en forringelse af dyrenes overlevelsesvilkår. I forbindelse med etablering af havvindmølleparker mangler der viden om hvilken påvirkning på det marine undervandslydbillede en havvindmøllepark medfører.

2. Faser i effektovervågning

2.1 Baseline

At overvåge baseline-støjniveauet, altså støjniveauet før anlæggelsen af en havvindmøllepark, er afgørende af flere grunde. Først og fremmest giver det en klar forståelse af det eksisterende undervandsstøjmiljø. Dette er vigtigt, fordi det skaber et referencepunkt, som man kan sammenligne med de støjniveauer, der opstår under havvindmølleparkens drift.

Ved at kortlægge det eksisterende undervandsstøjmiljø kan man identificere naturlige variationer og eksisterende støjkluder, såsom skibstrafik eller naturlige fænomener. Denne information er essentiel for at kunne vurdere den specifikke påvirkning, som havvindmølleparken vil have på det marine miljø.

2.2 Forundersøgelser

Forundersøgelser, såsom geotekniske og geofysiske undersøgelser, er en kritisk fase i planlægningen af en havvindmøllepark. Disse undersøgelser har til formål at indsamle detaljerede data om havbunden og de underliggende geologiske forhold i projektområdet.

Geotekniske undersøgelser indebærer borer og prøvetagning af havbundens sedimenter for at vurdere dens stabilitet og egnethed til at bære fundamenterne for vindmøllerne. Dertil undersøges kabel- og ilandføringskorridoren for fastlæggelse af kablets optimale placering. Typiske undersøgelser omfatter borer, prøvetagning med grab, samt tests såsom seismisk refraktion og cone penetration tests (CPT). Disse data er essentielle for at sikre, at konstruktionen kan modstå de kræfter, den vil blive udsat for, såsom bølger, strømme og vindbelastninger. Uden disse undersøgelser risikerer man at vælge et uegnet sted, hvilket kan føre til strukturelle problemer og øgede omkostninger.

Geofysiske undersøgelser omfatter brugen af akustisk undersøgelsesudstyr til at kortlægge havbundens topografi og underliggende lag. Typisk udstyr der anvendes i sådanne undersøgelser omfatter sparker, sub-bottom profiler, echosoundere og sonar (Pace, Robinson, Lumsden, & Martin, 2021). Disse undersøgelser hjælper med at identificere eventuelle geologiske risici, såsom sprækker eller bløde sedimenter, der kan påvirke stabiliteten af vindmøllefundamenterne. Ved at have en detaljeret forståelse af havbundens struktur



kan man optimere placeringen af vindmøllerne og minimere risikoen for uforudsete problemer under konstruktionen.

Desuden er disse forundersøgelser vigtige for at planlægge kabel-ilandføringskorridorer, som skal transportere den producerede elektricitet fra havvindmølleparken til land. Ved at kortlægge havbunden kan man vælge de mest egnede ruter, der minimerer miljøpåvirkningen og sikrer en stabil og sikker installation af kablerne.

Undervandsstøjen under forundersøgelser skal overvåges i henhold til Energistyrelsens retningslinjer for geofysik og geoteknik (Energistyrelsen, in prep).

2.3 Konstruktion

Under konstruktionen af en havvindmøllepark er der flere betydelige støjkloder, som kan påvirke det marine miljø. De primære støjkloder inkluderer rammearbejde, hvor fundamenterne til vindmøllerne rammes ned i havbunden, hvilket genererer kraftig undervandsstøj (Bellmann, et al., 2020). Borearbejde, som anvendes til at installere fundamenter i særligt hårde sedimenttyper, kan også skabe betydelig undervandsstøj. Skibstrafik fra installationsskibe, forsyningsskibe og slæbebåde genererer kontinuerlig undervandsstøj fra deres motorer og propeller (Ross, 1976; Hermannsen, Beedholm, Tougaard, & Madsen, 2014; Erbe, et al., 2019). Dynamisk positionering, som bruges af moderne installationsskibe til at holde deres position ved hjælp af thrustere, kan også generere betydelig undervandsstøj (Reiser, Funk, Rodrigues, & Hannay, 2011). Endelig kan kabelinstallation, hvor kablerne graves ned i havbunden ved hjælp af plove eller jetting-teknikker, også generere undervandsstøj fra både graveudstyr (Nedwell, Brooker, & Barham) samt positioneringsudstyr (USBL).

Undervandsstøjen under konstruktionen af en havvindmøllepark skal overvåges i henhold til Energistyrelsens retningslinjer for pæleramning (Energistyrelsen, 2023).

2.4 Drift

Under driften af en havvindmøllepark er der flere kilder til undervandsstøj, som kan påvirke det marine miljø. De primære støjkloder inkluderer selve vindmøllerne og de servicefartøjer, der anvendes til vedligeholdelse og drift af parken (Tougaard & Michaelsen, 2018).

Vindmøllerne genererer støj gennem deres mekaniske og elektriske komponenter. Rotorbladene, der drejer i vinden, skaber lavfrekvent støj, som via tårnet kan forplante sig til fundamentet, og herigennem til vandet. Desuden kan vibrationer fra generatorerne og andre mekaniske dele overføres til fundamenterne og videre til havbunden, hvilket også bidrager til undervandsstøjen (Bellmann, Müller, Scheiblich, & Betke, 2024). Servicefartøjer, der anvendes til vedligeholdelse og inspektion af vindmøllerne, bidrager også til undervandsstøjen (Bellmann, Müller, Scheiblich, & Betke, 2024). Disse skibe genererer støj fra deres motorer og propeller, og hvis de anvender dynamisk positionering (DP) systemer, kan dette yderligere øge støjniveauet.

Det er vigtigt at dokumentere den støj, som havvindmøllerne bidrager med til det eksisterende undervandslydbillede, af flere grunde. For det første giver det en klar forståelse af, hvordan vindmøllerne



påvirker det marine miljø. Ved at måle og dokumentere støjen fra vindmøllerne kan man identificere eventuelle negative effekter på marine arter, som er følsomme over for undervandsstøj.

Sammenligning med baseline undervandsstøjen, altså støjniveauet før anlæggelsen af vindmølleparken, er afgørende for at kunne vurdere den specifikke påvirkning fra havvindmølleparken. Baseline-data giver et referencepunkt, som gør det muligt at skelne mellem naturlige støjklender og den støj, der genereres af vindmøllerne. Uden denne sammenligning ville det være svært at fastslå, om ændringer i undervandslydbilledet skyldes vindmøllerne eller andre faktorer.

Overvågning af undervandsstøjen bidrager desuden til en bedre forståelse af de langsigtede effekter af vindmølleparken på det marine miljø.

3. Metoder

I databladet angives kravsspecifikationer for målemetoderne, herunder hvilke krav udstyr og måleprogram skal leve op til for at sikre opfyldelse af formålet med overvågningen. I nedenstående gives supplerende information til understøttelse af, og argumentation for de valgte krav.

For forundersøgelser refereres der til Energistyrelsens retningslinjer for målinger i forbindelse med udførelse af geotekniske og geofysiske undersøgelser (Energistyrelsen, in prep).

For konstruktionsfasen refereres der til Energistyrelsens retningslinjer for målinger i forbindelse med udførelse af pæleramning (Energistyrelsen, 2023).

3.1 Målepositioner

3.1.1 Baseline

I baseline måleprogrammet er der opstillet krav til et minimum antal målepositioner bestemt af undersøgelsesområdets areal. Dette har til formål at sikre en generel dækning af undersøgelsesområdet. Udgangspunktet er én målestation + én ekstra målestation pr. 100 km². Målepositionerne skal fordeles jævnt i området, og så vidt muligt ikke i umiddelbar nærhed af undersøgelsesområdets afgrænsning. Dette for at fokusere på undervandsstøjniveauet inde i projektområdet. Målestationerne kan med fordel udlægges sammen med øvrige typer målesystemer, så længe disse ikke producerer, eller i øvrigt bidrager med støj til det marine miljø, direkte eller indirekte som følge af udlægningsmetode, eller som følge af elektromagnetisk interferens.

Hvis der i nærområdet, defineret som en radius på 5 km fra undersøgelsesområdet, er et eller flere Natura 2000 områder med marine pattedyr på udpegningsgrundlaget, skal der tilføjes en måleposition i hvert område. Målepositionen skal vælges således afstanden til undersøgelsesområdet er kortest mulig. Målepositioner i Natura 2000 områder har til formål at agere baseline ift. målinger af støjen under forundersøgelser og under drift af havvindmølleparken.



3.1.2 Drift

I overvågningsprogrammet for driftsfasen af en havvindmøllepark er der krav om to sæt transektmålestrengene samt en måleposition i midten af vindmølleparkområdet. Derudover er der, ligesom i baseline-overvågningsprogrammet, krav om en målestation i alle nærliggende Natura 2000-områder, hvor havpattedyr er en del af udpegningsgrundlaget. Målestationen i hvert Natura 2000-område skal placeres i det punkt, hvor afstanden til vindmølleparken er kortest. Formålet med disse målestationer er at dokumentere, om og i hvilken grad støj-emission fra vindmølleparken påvirker Natura 2000-områderne. Her skal baseline-måledata inddrages, og måledata fra driftsfasen, hvor vindhastigheden er under cut-in for vindmøllerne, bruges som reference i sammenligningen med målinger ved højere vindhastigheder, hvor vindmøllerne producerer strøm.

Målepositionen i centrum af vindmølleparken skal udvælges, så den har tilnærmelsesvist samme afstand til de tre nærmeste vindmøller. Denne måleposition har til formål at dokumentere det generelle undervandsstøjniveau i vindmølleparkområdet og er desuden relevant i forhold til sammenligning med andre studier af undervandsstøj under drift af havvindmølleparker (Bellmann, Müller, Scheiblich, & Betke, 2024).

De to transektmålestrengene består hver af minimum fire målestationer placeret i afstandene 100 m, 250 m, 500 m og 1000 m fra en udvalgt vindmølle. Afstandene 100 m og 1000 m er valgt ud fra tidligere studier af undervandsstøj fra vindmøller i drift (Bellmann, Müller, Scheiblich, & Betke, 2024), hvor tilsvarende afstande er benyttet. Afstandene 250 m og 500 m er tilføjet for at muliggøre en mere præcis bestemmelse af støjniveauet som funktion af afstanden fra vindmøllen, og dermed i hvilken afstand fra vindmøllerne, støjbidraget ikke længere overstiger baggrundsstøjen. Der er krav om minimum to transektmålestrengene ved to forskellige vindmøller for at opnå et statistisk mere solidt grundlag samt som redundans i tilfælde af tab af målestationer.

3.2 Måleudstyr

3.2.1 Baseline

Kravene til måleudstyret i baseline overvågningen er i høj grad fastsat ud fra allerede eksisterende principper i BIAS retningslinjerne for undervandsstøjmålinger, (Verfuß, et al., 2015), JOMOPANS retningslinjerne (Fischer, Kühnel, & Basan, 2021), de tyske retningslinjer for undervandsstøjmålinger (BSH, 2011) og ISO 18406's angivelser for undervandsstøjmålinger (DS/ISO 18406, 2017). Dog er der enkelte afvigelser herfra.

For baggrundsstøjmålinger er den øvre frekvensgrænse typisk sat ved 20 kHz 1/3-oktavgbåndet (Bellmann, Müller, Scheiblich, & Betke, 2024) (BSH, 2011), (DS/ISO 18406, 2017). Men denne øvre frekvensgrænse vil ofte være for lavt sat til at give et repræsentativt billede af undervandsstøjbilledet. Dette skyldes, at der for nyligt er kommet et øget fokus på undervandsstøjbidrag fra højfrekvente udstyrstyper, såsom USBL (Ultra-Short Baseline) der benyttes under fx geofysiske undersøgelser (Pace, Robinson, Lumsden, & Martin, 2021), ROV (remote operated vehicles), samt i fiskeriet. USBL systemet er en metode til undervands akustisk positionering, der bruges til at spore placeringen af undervandsobjekter såsom side scan sonar (SSS), magnetometer, ROV'er, eller andre trukne objekter. Systemet består af en transceiver monteret på et skib og en eller flere transpondere på det objekt man ønsker at kende positionen af. Gennem hyppig akustisk kommunikation mellem enhederne i frekvensområdet 19 kHz – 32 kHz, kan systemet beregne afstand og retning til hver transponder. Grundet frekvensområdet og en typisk høj kildestyrke, kan brugen af USBL have langtrækkende påvirkninger på de marine pattedyr, herunder særligt marsvin, som hører godt ved disse



frekvenser (Andersen, 1970; Kastelein, Bunschoek, Hagedoorn, Au, & Haan, 2002; Kastelein, Hoek, de Jong, & Wensveen, 2010). Som følge heraf, øges det frekvensområde der skal optages til at omfatte op til 40 kHz 1/3-oktavbåndet. En samplingsfrekvens på minimum 92 kHz er derfor påkrævet.

Målesystemernes dynamiske område skal som minimum muliggøre optagelse af lydtrykniveauer i spændet $SPL = 80 - 165 \text{ dB re. } 1 \mu Pa$, således både stilleperioder og perioder med skibsstøj og øvrige støjende aktiviteter kan opfanges uden optagelserne klipper.

3.2.2 Drift

Måleudstyret til overvågningsprogrammet for driftsfasen er funktionsmæssigt identisk til baseline udstyret og samme metoder som beskrevet i afsnit 3.2.1 gør sig således også gældende for driftsfasen.

3.3 Varighed af målinger

3.3.1 Baseline

Måleperioden skal strække sig over 12 måneder, således variationer over året repræsenteres i måleresultaterne, og som muliggør en karakterisering af det gennemsnitlige støjniveau per måned. Der kan med fordel vælges en tidsperiode som overlapper helt eller delvist med udlægning af øvrige overvågningssystemer, såsom fx klik detektorer samt evt. bredbåndsdetektorer til marine pattedyr.

Den procentvis aktive måleperiode (duty cycle) over de 12 måneder skal være mindst 25% på timebasis og gerne højere. De 25% skal være sammenhængende for hver time. Optagelser bør således planlægges på timebasis med en aktiv periode svarende til min. 25% (15 minutter). I forbindelse med servicering accepteres fravigelser herfra. Ved fejl på, eller tab af, måleudstyr, skal der udsættes nyt, tilsvarende måleudstyr som erstatning hurtigst muligt.

3.3.2 Drift

Måleperioden i driftsfasen skal strække sig over minimum 6 uger for at sikre et tilstrækkeligt stort datasæt der dækker de mest hyppigt forekommende vejsituationer og vindhastigheder. Det må forventes at der, grundet vejrlig vil være en del af målingerne der frasorteres til separat analyse som følge af regnvejr, forbipasserende skibe og øvrige særligt støjende aktiviteter mv. som ikke relaterer sig til havvindmølleparkens normale drift. Hvis det valgte måletidsrum ikke er tilstrækkeligt til at give brugbare data af minimum samlet varighed på 72 timer for hver vindklasse, skal måletidsrummet suppleres med yderligere målinger således dette kriterie kan opfyldes.

Måletidsrummet skal tilrettelægges så det i videst muligt omfang undgår perioder med særligt vedligehold af de nærmeste vindmøller til målepositionerne (5 km radius).

Målingerne skal foretages som kontinuerte målinger uden pauser, altså med en procentvis aktiv måleperiode på 100 %. Dette bør indtænkes i valg af målesystemer, batteri- og lagerkapacitet.

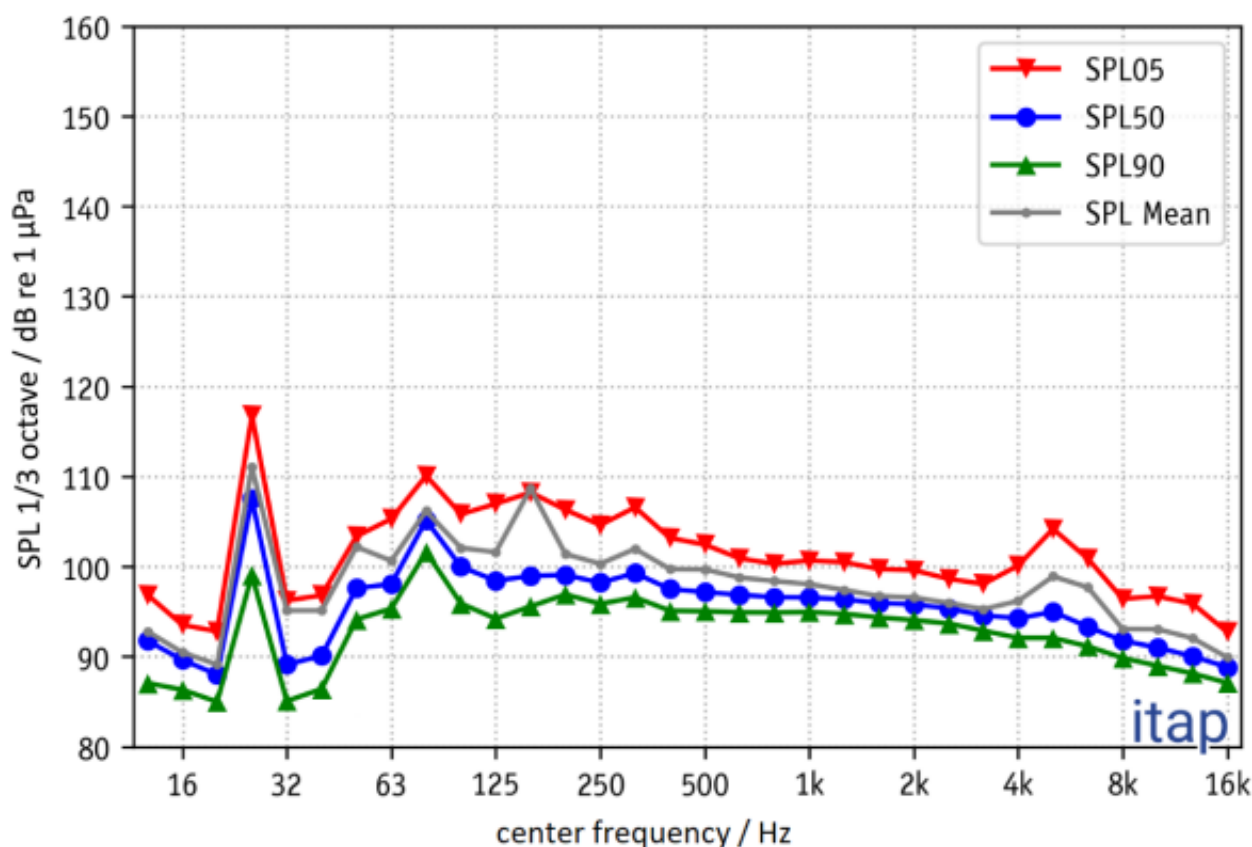


3.4 Dataanalyse

3.4.1 Baseline

Dataanalysen i baseline baseres i høj grad på anbefalinger i øvrige guidelines, (BSH, 2011) (DS/ISO 18406, 2017) (Fischer, Kühnel, & Basan, 2021) (Verfuß, et al., 2015), (HELCOM, 2021).

Analysen skal baseres på gennemsnitlige lydtrykniveauer i 125 ms, 1 sek. og 5 sek. intervaller ($L_{eq,125ms}$, $L_{eq,1s}$ og $L_{eq,5s}$) i 1/3-oktav bånd, samt med overskridelsesniveauer på 5%, 50% og 90% ($L_{05,t}$, $L_{50,t}$ og $L_{90,t}$). De tre tidsvinduer skal sikre sammenligningsgrundlaget med øvrige nationale og internationale overvågningsprogrammer (HELCOM, 2021) (BSH, 2011). Særligt for tidsvinduet på 125 ms, er det valgt ud fra integrationstiden i de marine pattedyrs hørelse, og relaterer sig analyse af adfærdsreaktioner (Tougaard J., 2021). For dette tidsvindue er det de høje frekvenser og kortvarige støjbidrag (fx USBL) der er den primære fokus. Et eksempel på en grafisk visning af resultaterne er givet i Figur 3.1 (Bellmann, Müller, Scheiblich, & Betke, 2024).



Figur 3.1: Eksempel på repræsentation af måleresultater for en given kalendermåned kilde: (Bellmann, Müller, Scheiblich, & Betke, 2024).

For at kunne belyse den sæsonmæssige variation i de optagede niveauer, skal analysen, samt præsentation og diskussion af resultater foretages på månedsbasis repræsenterende de individuelle kalendermåneder.



3.4.2 Drift

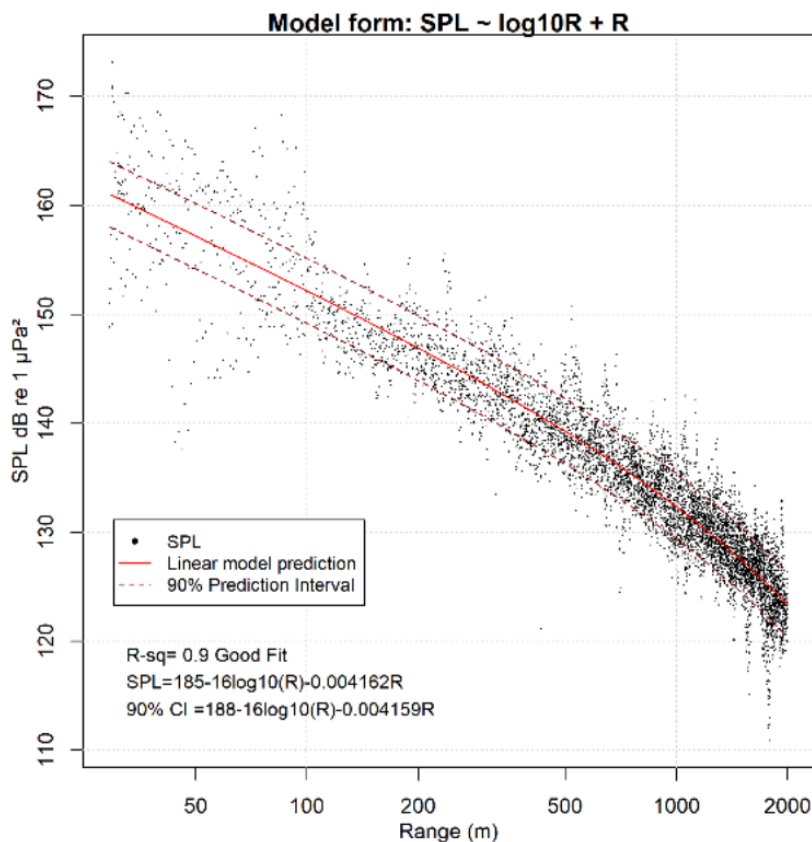
Dataanalysen i driftsperioden baseres primært på metoder anvendt i (Bellmann, Müller, Scheiblich, & Betke, 2024), som sammenfatter målinger af driftsstøj fra 27 vindmøller i tysk farvand, og analyserer resultaterne heraf.

Forud for den detaljerede analyse skal optagelser og de relevante logfiler indledningsvist undersøges for forekomst af hård regn, tordenvejr, forbipasserende skibe og øvrige signifikante udsving i de målte niveauer som ikke kan tillægges driften af havvindmølleparken. Tidsrum i optagelserne med sådanne støjæssige forekomster skal frasorteres, og en dokumentation af de frasorterede data skal forekomme som en del af analysen, herunder særligt omfang og årsager.

Måleresultaterne skal således grupperes efter den vindstyrke der er målt i turbinehøjde ved nærmeste vindmølle. Intervallet 0 – 3,5 m/s repræsenterer de vindhastigheder hvor vindmøllerne forventes at være stillestående, eller i standby og dermed ikke producerer strøm. Dette interval kan i analysen anvendes som en reference for baggrundsstøjniveauet. De øvrige intervaller (3,5 – 7 m/s, 7 – 10 m/s og over 11 m/s) svarer til forskellige driftstilstande af vindmøllen, og skal således analyseres separat for hver kategori. En sammenligning af støjniveauet i de forskellige vindklasser skal foretages.

Analysen skal baseres på gennemsnitlige lydtrykniveauer i 125 ms, 1 sek. og 5 sek. intervaller ($L_{eq,125ms}$, $L_{eq,1s}$ og $L_{eq,5s}$) i 1/3-oktav bånd, samt med overskridelsesniveauer på 5%, 50% og 90% ($L_{05,t}$, $L_{50,t}$ og $L_{90,t}$). De tre tidsvinduer skal sikre sammenligningsgrundlaget med øvrige nationale og internationale overvågningsprogrammer (HELCOM, 2021) (BSH, 2011). Særligt for tidsvinduet på 125 ms, er det valgt ud fra integrationstiden i de marine pattedyrs høreelse, og relaterer sig analyse af adfærdsreaktioner (Tougaard J., 2021). Eksempel på en grafisk repræsentation er givet i Figur 3.1.

For hver af de målte transekter skal der laves detaljeret analyse af de målte støjniveauer som en funktion af afstanden mellem vindmølle og målestation. Det anbefales at anvende formen $TL = SL - X \cdot \log_{10}(r) - \alpha \cdot r$, hvor TL er transmissionstab, SL er kildestyrken i SPL, X og α er lydudbredelseskonstanterne og r er afstanden fra kilden i meter. Analysen skal ske separat for hver vindklasse. Et eksempel på en grafisk repræsentation er vist i figur 3.2.



Figur 3.2: Eksempel på repræsentation af støjniveauet som funktion af afstand fra vindmøllen. Illustration er lydniveauer målt fra en sparker anvendt i Nordsøen (Pace, Robinson, Lumsden, & Martin, 2021).

Der skal inkluderes en sammenligning af baseline støjniveauerne, støjniveauerne under reference vindklassen (0 – 3,5 m/s) og støjniveauerne målt under de forskellige vindklasser hvor vindmøllerne producerer strøm. Sammenligningen skal inkludere en analytisk understøttet vurdering af:

- om, og i hvilken grad, de forskellige driftstilstande fører til en forøgelse af baggrundsstøjniveauet i de forskellige afstande. Hertil kan de etablerede sammenhænge mellem afstand og lydtrykniveau med fordel anvendes som udgangspunkt.
- I hvilken afstand fra de målte vindmøller i de forskellige driftstilstande der kan observeres overskridelser af baggrundsstøjniveauet, og i hvilke frekvensbånd overskridelsen forekommer.
- En sammenhæng mellem vindklasse og støjniveauet, samt mellem vindklassen og den dominerende frekvens (1/3-oktav båndet med højeste amplitude). Denne del er primært tiltænkt målestationer i 100 m og 250 m afstand fra vindmøllerne.
- Sammenligningen kan tage udgangspunkt i en vurdering af overlappende datafordeling mellem 95% konfidensintervallet fra støjniveaumodelleringen (i forhold til afstand fra møllen) og 1,96*standard error fra baggrundsstøj data. Den dobbelte (1,96) standard error er ofte brugt som værende en proxy for 95% konfidensintervaller. Overlappende 95% konfidensintervaller indikerer ingen signifikant



forskel, og man vil derved kunne estimere ved hvilken afstand at støjniveauet fra mølleaktivitet ikke overstiger baggrundsstøjen.



4. Referencer

- Andersen, S. (1970). Auditory sensitivity of the Harbour Porpoise *Phocoena phocoena*. *Investigations on Cetacea*, 2, 255-258.
- Bellmann, M. A., May, A., Wendt, T., Gerlach, S., Remmers, P., & Brinkmann, J. (2020). *Underwater noise during percussive pile driving: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values*. Oldenburg, Germany: August, ITAP.
- Bellmann, M., Müller, T., Scheiblich, K., & Betke, K. (2024). *Experience report on operational noise - Cross-project evaluation and assessment of underwater noise measurements from the operational phase of offshore wind farms, itap report no. 3926*. Version 2: funded by the German Federal Maritime and Hydrographic Agency, funding no. 10054419.
- BSH. (2011). *Measuring instruction for underwater sound monitoring; Offshore wind farms*. Hamburg: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.
- Dosits.org. (10. 10 2024). *What are common underwater sounds*. Hentet fra Dosits.org: <https://dosits.org/science/sounds-in-the-sea/what-are-common-underwater-sounds/>
- DS/ISO 18406. (2017). DS/ISO 18406 - Underwater acoustics - Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving.
- Energistyrelsen. (2023). *Guideline for underwater noise - Installation of impact or vibratory driven piles*. March.
- Erbe, C., Marley, S., Schoeman, R., Smith, J., Trigg, L., & Embling, C. (2019). The effects of ship noise on marine mammals - a review. *Frontiers in Marine Ecology*. Vol 6. Artikel 606.
- 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. (2021). *Guidelines for monitoring continuous noise*.
- Hermanssen, L., Beedholm, K., Tougaard, J., & Madsen, P. (2014). High frequency components of ship noise in shallow water with a discussion of implications for harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). *J. Acoust. Soc. Am.* 136(4):1640-1653.
- Kastelein, R. A., Bunscoek, P., Hagedoorn, M., Au, W. W., & Haan, D. D. (2002). Audiogram of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency modulated signals. *Journal of the Acoustical Society of America*, 112, 334-344.
- Kastelein, R. A., Hoek, L., de Jong, C. A., & Wensveen, P. J. (2010). The effect of signal duration on the underwater detection thresholds of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) for single frequency-modulated tonal signals between 0.25 and 160 kHz. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128, 3211-3222.
- Nedwell, J., Brooker, A., & Barham, R. (u.d.). *Assessment of underwater noise during the installation of export power cables at the Beatrice Offshore Wind Farm*. Subacoustic Environmental Ltd.
- Pace, F., Robinson, C., Lumsden, C., & Martin, S. (2021). *Underwater Sound Sources Characterisation Study: Energy Island, Denmark, Document 02539, Version 2.1*. Technical report by JASCO Applied Sciences for Fugro Netherlands Marine B.V.
- Reiser, C. M., Funk, D. W., Rodrigues, R., & Hannay, D. (2011). *Marine mammal monitoring and mitigation during marine geophysical surveys by Shell Offshore, Inc. in the Alaskan Chukchi and Beaufort seas, July–October 2010: 90-day report*. LGL Rep. P1171E–1. Rep. from LGL Alaska Research Associates Inc., Anchorage, AK, and JASCO Applied Sciences, Victoria, BC for Shell Offshore Inc,



- Houston, TX, Nat. Mar. Fish. Serv., Silver Spring, MD, and U.S. Fish and Wild. Serv., Anchorage, AK. 240 pp, plus appendices.
- Ross, D. (1976). Mechanics of underwater noise. New York, NY: Pergamon Press.
- Tougaard, J. (2021). *Thresholds for behavioural responses to noise in marine mammals. Background note to revision of guidelines from the Danish Energy*. Aarhus: Aarhus University DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 32 pp. Technical Report No. 225 <http://dce2.au.dk/pub/TR225.pdf>.
- Tougaard, J., & Michaelsen, M. (2018). *Effects of larger turbines for the offshore wind farm at Krieger's Flak, Sweden. Assessment of impact on marine mammals*. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy.
- Verfuß, U., Andersson, M., Folegot, T., Laanearu, J., Matuschek, R., Pajala, J., . . . Tougaard, J. (2015). *BIAS Standards for noise measurements. Background information, Guidelines and Quality Assurance. Amended version*.