



Energistyrelsen



# Undervandsstøj

---

## Datablad

**Energistyrelsen**

Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V

T: +45 3392 6700

E: [ens@ens.dk](mailto:ens@ens.dk)

[www.ens.dk](http://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 - Datablad

Udgiver: Energistyrelsen

Billeder og illustrationer: NIRAS A/S

Dato: september 2025

Version: 1.0



|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1. Indledning .....                                        | 4  |
| 2. Kvalitetssikring .....                                  | 5  |
| 3. Baseline undervandsstøjmålinger .....                   | 5  |
| 3.1 Metode til undervandsstøjmålinger .....                | 5  |
| 3.1.1 Målepositioner .....                                 | 5  |
| 3.1.2 Måleudstyr .....                                     | 6  |
| 3.1.3 Varighed og tidsperiode for målingerne .....         | 6  |
| 3.1.4 Dataanalyse .....                                    | 6  |
| 3.1.5 Leverancer .....                                     | 7  |
| 4. Undervandsstøj i forbindelse med forundersøgelser ..... | 8  |
| 5. Undervandsstøj under konstruktionsfase .....            | 9  |
| 6. Undervandsstøj under driftsfase .....                   | 9  |
| 6.1 Metode til undervandsstøjmålinger .....                | 9  |
| 6.1.1 Målepositioner .....                                 | 9  |
| 6.1.2 Måleudstyr .....                                     | 11 |
| 6.1.3 Varighed og tidsperiode for målingerne .....         | 11 |
| 6.1.4 Dataanalyse .....                                    | 12 |
| 6.1.5 Leverancer .....                                     | 12 |
| 7. Krav til kalibrering .....                              | 13 |
| 8. Referencer .....                                        | 14 |



## 1. Indledning

Dette datablad beskriver hvorledes effektovervågning af undervandsstøj skal foregå for at kunne vurdere effekter fra installation af en havvindmøllepark. Databladet tager udgangspunkt i 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.

Under havets overflade er der aldrig stille. Dette skyldes en kombination af naturlige abiotiske lyde som bølger, regn, samt de biotiske lyde fra marine dyr som hvaler og fisk, der kommunikerer og navigerer ved hjælp af lyd. Derudover bidrager antropogene støjkluder, såsom skibsstøj og anlægsarbejder, til det samlede undervandslydbillede.

Når der etableres havvindmølleparker, tilføjes der yderligere undervandsstøj igennem flere faser. Som en del af forundersøgelserne kortlægges havbunden via geofysiske og geotekniske undersøgelser. Nogle af de udstyrssystemer, der anvendes udsender kraftige lydbølger. I konstruktionsfasen er pæleramning en væsentlig støjkilde, når store pæle bankes ned i havbunden for at sikre vindmøllernes fundament. Når vindmølleparken er i drift, genereres der støj fra både de roterende turbiner og fra de serviceskibe, der bruges ved vedligehold af havvindmølleparken.

Ved at overvåge støjniveauerne i de forskellige faser kan man bedre forstå og minimere de potentielle negative effekter på det marine økosystem.

For at adressere dette behov, er databladet opbygget som følger:

- **Afsnit 1: indledning**
- **Afsnit 2: Kvalitetssikring**  
Heri beskrives krav til kvalitetssikring.
- **Afsnit 3: Baseline undervandsstøjmålinger**  
Heri beskrives krav til måleprogrammet som har til formål at etablere en baseline for baggrundsundervandsstøjen i projektområdet.
- **Afsnit 4: Undervandsstøj i forbindelse med forundersøgelser**  
Heri beskrives krav til måleprogrammet som har til formål at sikre at undervandsstøjemissionen i forundersøgelsesfasen ikke overskrider de vilkår der er stillet i forundersøgelsestilladelsen.
- **Afsnit 5: Undervandsstøj under konstruktionsfase**  
Heri beskrives krav til måleprogrammet som har til formål at sikre at undervandsstøjemissionen i konstruktionsfasen ikke overskrider de vilkår der er stillet i etableringstilladelsen.
- **Afsnit 6: Undervandsstøj under driftsfase**  
Heri beskrives krav til måleprogrammet som har til formål at undersøge den påvirkning på baggrundsstøjniveauet som havvindmølleparken har i drift.
- **Afsnit 7: Krav til kalibrering**  
Heri beskrives krav til kalibrering af måleudstyr.



## 2. Kvalitetssikring

For at data skal kunne anvendes til effektovervågning, skal de anvendte metoder resultere i data, der er sammenlignelige over tid i området. I både planlægning og udførelse af effektovervågningen skal gældende internationale standarder og/eller *state of the art* metoder anvendes, som beskrevet i dette datablad og den tilhørende baggrundsrapport.

De personer der er ansvarlige for dataindsamling skal have den nødvendige erfaring og viden om håndtering af systemerne. Navne på de personer der udfører surveys og servicering skal fremgå af metadata.

## 3. Baseline undervandsstøjmålinger

Baseline undervandsstøjmålinger har til formål at tilvejebringe viden om de eksisterende baggrundsstøjniveauer i projektområdet før havvindmølleparken etableres. Ikke alle områder er udsat for samme undervandsstøjniveauer, men varierer som følge af skibstrafik, vind og vejr, samt de fysiske forhold i området såsom vanddybde, sediment og hydrografi. Metodikken for baseline undervandsstøjmålinger er baseret på 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).

### 3.1 Metode til undervandsstøjmålinger

#### 3.1.1 Målepositioner

Målepositioner skal foreslås af ansøgeren i det detaljerede måleprogram og opfylde følgende specifikationer:

- Målesystemer skal placeres i et antal positioner, der er tilstrækkeligt til at dække projektområdet. Dette afhænger af projektområdets størrelse og nedenstående minimum antal gælder:
  - $< 100 \text{ km}^2$ :
    - Mindst to (2) positioner inden for projektområdet,
  - $100 \text{ km}^2 - 200 \text{ km}^2$ :
    - Mindst tre (3) positioner inden for projektområdet,
  - $200 \text{ km}^2 - 400 \text{ km}^2$ :
    - Mindst fire (4) positioner inden for projektområdet,
  - $> 400 \text{ km}^2$ :
    - Mindst fem (5) positioner inden for projektområdet,
- Målesystemerne skal udlægges så spredt som muligt inden for projektområdet, og så vidt muligt med en afstand på min. 1 km til projektområdets grænser.
- Hvis der er et eller flere Natura 2000 områder med marine pattedyr på udpegningsgrundlag inden for en 5 km radius fra projektområdet, skal der foruden positionerne inde i projektområdet også udlægges et målesystem i hvert Natura 2000 område. Placeringen af målesystemet skal vælges som det punkt hvor afstanden mellem Natura 2000 området og projektområdet er kortest, og skal lægges på, eller umiddelbart inden for grænsen til Natura 2000 området.



- Alle positioner skal, så vidt muligt, undgå områder med fiskeri for at undgå skade/tab af målesystemet fra trawling og/eller påsejling.
- Hydrofonens dybde skal være i den nederste 3/4 af vandsøjlen (mellem 0,5 – 0,75 x vanddybden) ved de enkelte målepositioner.
- Hvis vanddybden inden for projektområdet varierer betydeligt (> faktor 2), skal valget af positioner afspejle vanddybdespændet.
- 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, hverken direkte eller indirekte som følge af udlægningsmetode.

### 3.1.2 Måleudstyr

Måleudstyret skal opfylde følgende specifikationer:

- Alle målesystemer skal være baseret på hydrofoner.
- Frekvensområdet, der skal måles, skal som minimum dække 1/3-oktavbåndene 20 Hz – 40 kHz. Samplingsraten skal dermed være min. 92 kHz, med en brugbar båndbredde på min. 18 Hz – 45 kHz.
- Hydrofoner skal være omnidirektionelle (+/- 3 dB) i det horisontale plan.
- Systemets dynamiske område skal muliggøre optagelse af lydtrykniveauer,  $SPL = 80 - 165 \text{ dB re. } 1 \mu Pa$ .
- De rå måledata skal gemmes i .wav-format med henblik på udlevering som del af den digitale leverance.
- ADC'en (Analog digital converter) skal være mindst 16 bit.
- Kalibrering af målesystemer skal følge angivelserne i afsnit 7 i dette datablad.
- Fortøjninger, kabler, akustiske udløsere og andre fysiske dele af måleopsætningen skal designes, så de ikke introducerer uønsket støj såsom raslelyde eller strømningsstøj på hydrofonoptagelserne, da dette ses som en påvirkning af det faktiske undervandsstøjmiljø.
- Målesystemets egenstøj skal være under "sea state 0" ved frekvenser op til 1 kHz, og mindst 10 dB under det laveste niveau der forventes målt ved frekvenser over 1 kHz.

### 3.1.3 Varighed og tidsperiode for målingerne

Målinger skal udføres over en passende tidsperiode, med udgangspunkt i følgende krav:

- Der skal kontinuert udføres målinger med en varighed på mindst 12 måneder.
- Den procentvise aktive måleperiode (EN: duty cycle) skal være mindst 25 %, og skal være sammenhængende optageperioder pr. time. Det vil sige i tilfældet af en duty cycle på 25 %, så skal der være 15 sammenhængende minutters optagelser pr. time.

### 3.1.4 Dataanalyse

Efterbehandling og analyse af dataene skal følge nedenstående specifikationer:



- Optagelserne skal efterbehandles i overensstemmelse med passende procedurer, i overensstemmelse med producentens specifikationer, for at konvertere de optagede spændingsniveauer til lydtrykniveauer.
- Dataene skal kvalitetssikres før enhver analyse af lydtrykniveauer, herunder fjernelse af perioder med clipping, NaN, Inf-værdier, og statistik for hvert målesystem om, hvor meget data der blev udeladt, skal leveres.
- Følgende skal beregnes for hvert målesystem for hver kalendermåned i hele måleperioden:
  - Gennemsnit af lydtrykniveauer ved brug af Hann-tidsvindue (50% overlap) på 5 sekunder ( $L_{eq,5s}$ ), 1 sekund ( $L_{eq,1s}$ ), og 125 ms ( $L_{eq,125ms}$ ). Resultaterne skal udtrykkes både i bredbånd og i 1/3 oktav bånd (base 10) i overensstemmelse med IEC 61260-1 for hele frekvensområdet.
  - Resultaterne skal rapporteres i numerisk (tabel) form, og som minimum vedlægges i appendiks.
  - Resultaterne skal rapporteres grafisk (plots) som en funktion af tid og skal inkludere overskridelsesniveauer på 5%, 50% og 90%. For ( $L_{eq,5s}$ ) som eksempel udtrykkes dette ved  $L_{05,5s}$ ,  $L_{50,5s}$  og  $L_{90,5s}$ .
- En statistisk repræsentation af det målte lydtrykniveau i 1/3 oktavbåndsniveauer ved brug af et boksplot/violinplot inklusiv standardafvigelse og 5%, 50% og 90% overskridelsesniveauer.
- En diskussion med observationer af resultaterne, herunder forskelle mellem resultater for forskellige måneder og mellem forskellige målestationer.

### 3.1.5 Leverancer

I nuværende version er det endnu ikke fastlagt, hvor data skal indrapporteres. Dette vil fremgå i en senere opdatering af databladet.

Målingerne skal dokumenteres i form af en teknisk målerapport, samt en digital leverance med rådata fra målingerne. Nedenfor angives krav til indhold i den tekniske rapport, derefter til indholdet af den digitale leverance.

Målerapporten skal udarbejdes og indeholde følgende:

- En overordnet opsummering, der præsenterer de primære fund på et ikke-teknisk niveau.
- En teknisk opsummering, der diskuterer målene og hvordan de blev opnået. Detaljerede fund, konklusioner og resultater skal præsenteres.
- En detaljeret beskrivelse af måleprogrammet, herunder:
  - Udsætningsprocedure.
  - Målepositioner i både koordinater og grafisk på et kort.
  - Udsætningsdybde.
  - Udsætnings- og hentningsdato og -tid i UTC.
- Måleopsætning, herunder teknisk beskrivelse af målesystemer, hydrofoner, fortøjning og udsendelsesmetodologi.
- Udstyrskalibrering, herunder både laboratoriekalibrering og kalibreringstjek. Certifikater skal vedlægges i appendiks.
- Teknisk beskrivelse af analysemetodologi og anvendte metrikker.



- Resultater, inklusive alle numeriske tabelresultater (kan placeres i appendiks) og grafiske resultater. Resultatafsnittet skal også inkludere sammenligningen mellem støjniveauer i projektområdet og støjniveauer uden for projektområdet (referencepositioner).
- Diskussion.
- Konklusion.
- Appendikser, der inkluderer datablade for målesystemer, hydrofoner, sonder, fortøjninger, kalibreringscertifikater, ekstra resultater (numeriske tabeller).

Som udgangspunkt skal nedenstående indberettes:

- Alle optagede data i .wav-format
  - Filerne skal være i en mappestruktur med 1 mappe pr. målestation
  - Hvis der blev udført mere end én udsætning på en eller flere stationer (med samme eller forskellige instrumenter), skal hver udsætning være i en separat mappe.
  - Navngivningskonventionen for rå datafiler skal være konsistent.
  - Metadata skal leveres sammen med rådata filerne og skal som minimum inkludere:
    - Oplysninger om instrumentet, inklusive serienummer, hydrofontype for eksterne hydrofoner, antal kanaler og beskrivelse heraf, samplingsfrekvens og klipniveau for optageren (dvs. lydtrykniveau svarende til fuld skala detektion af wav-filen), samt beskrivelse af eventuelle forstærkninger eller filtre.
    - Starttid og dato for optagelsen i formatet "yyyy-mm-dd HH-MM-SS"
    - Position for målestystemet i Lat/Lon [EPSG: 4326] i decimalgrader.
    - Metadata kan leveres som tekst-, xml- eller HTF5-filer.
- Alle relevante logfiler, herunder:
  - Udsætnings- og hentningslogfiler
  - Målesystemlogfiler
- Digitale (.png eller .jpeg) filer af alle resultatplots.
- Data Excel-filer med numeriske resultater (hvis ikke inkluderet i appendiks), enten som csv-filer eller HTF5-filer, i overensstemmelse med ICES-standardformatet.
- Kalibreringscertifikater (pdf).

## 4. Undervandsstøj i forbindelse med forundersøgelser

Før installationen af havvindmølleparken finder sted, udføres der ofte geotekniske og geofysiske undersøgelser, som har til formål at indsamle information om havbundens- og de dybere lags beskaffenhed. Udformningen af undersøgelsesprogrammerne, samt hvilke typer af udstyr, der er nødvendige at anvende afhænger af projektet samt de specifikke projektområder. Flere af de udstyrstyper, som ofte anvendes (f.eks sub-bottom profilere, sparkers og mini airguns, samt brug af USBL for at holde styr på disse instrumenter) udsender undervandsstøj, der kan påvirke det marine miljø. Undervandsstøjmålinger i forbindelse med udførelse af geofysiske og geotekniske undersøgelser, kan derfor være nødvendige, for at undersøge den konkrete påvirkning af miljøet. Energistyrelsen har udarbejdet retningslinjer for måleprogrammer, tilpasset det aktuelle behov for de konkrete undersøgelser (Energistyrelsen, in prep). Omfanget og typen af målinger afgøres på sagsbasis, og udtrykkes gennem forundersøgelsestilladelsen. Der findes således ikke



standardiserede krav til udførelse af målinger i denne fase. Der henvises i stedet til den specifikke forundersøgelsestilladelse.

## 5. Undervandsstøj under konstruktionsfase

I forbindelse med konstruktionsfasen vil der forekomme undervandsstøj fra flere kilder, som kan påvirke det marine miljø (for en mere detaljeret beskrivelse henvises til baggrundsnotatet). Anlægsfartøjer (herunder installationsskibe, forsyningsskibe og slæbebåde) vil bidrage med støj både i transit til og fra anlægsområdet, samt ved fastholdelse af position under installationsarbejderne. Den primære støjkilde vil dog være som følge af pæleramning eller nedvibrering af turbinefundamenterne. De mest anvendte fundamentstyper er monopæle og jacket fundamenter, hvor én enkelt (monopæl) eller flere (jacket) pæle rammes ned i havbunden, hvilket medfører kraftig impulsiv undervandsstøj, som kan påvirke de marine organismer negativt. Enkelte alternative fundamentstyper som fx gravitationsfundamenter, medfører ikke tilsvarende undervandsstøj, og i disse tilfælde vil de primære støjklider bestå af anlægsfartøjerne, samt eventuelle USBL systemer.

Hvis der anvendes monopæle eller jacket fundamenter med pin piles, som skal rammes ned i havbunden, skal der udføres undervandsstøjmålinger i forbindelse med konstruktionsfasen for havvindmølleparken for at kontrollere at undervandsstøjemissionen fra nedramning af de pælebaserede fundamentstyper ikke overskrider de fastsatte grænseværdier. Samtidig skal målingerne verificere undervandsstøjmodelleringen, som danner grundlaget for de gennemførte vurderinger i miljøkonsekvensrapporten for det givne projekt. Grænseværdier, målemetodik samt krav til analyse og afrapportering er specificeret i dokumentet: "Guideline for underwater noise - Installation of impact or vibratory driven piles" (Energistyrelsen, 2023).

## 6. Undervandsstøj under driftsfase

Under driften af en havvindmøllepark er der flere kilder til undervandsstøj, som kan påvirke det marine miljø. De primære støjklider inkluderer selve vindmøllerne og de servicefartøjer, der anvendes til vedligeholdelse og drift af parken (for en mere detaljeret beskrivelse henvises til baggrundsnotatet). Undervandsstøjmålinger under driftsfasen har til formål at tilvejebringe viden om undervandsstøjniveauet i og nær havvindmølleparken under drift. Her er der særlig fokus på sammenligning af resultaterne fra baseline målingerne, og målingerne under drift, for at tilvejebringe viden om den faktiske påvirkning af undervandsstøjniveauerne som følge af havvindmølleparkens drift.

### 6.1 Metode til undervandsstøjmålinger

Måleprogrammet skal som minimum bestå af to sæt transekt-målinger for to repræsentative vindmøller, hvor der for hver vindmølle placeres et minimum af 4 målepositioner i forskellig afstand til vindmøllen. Hvilke to vindmøller afhænger af vindmølleparkens udformning. Design og valg af målepositioner gennemgås i nedenstående afsnit.

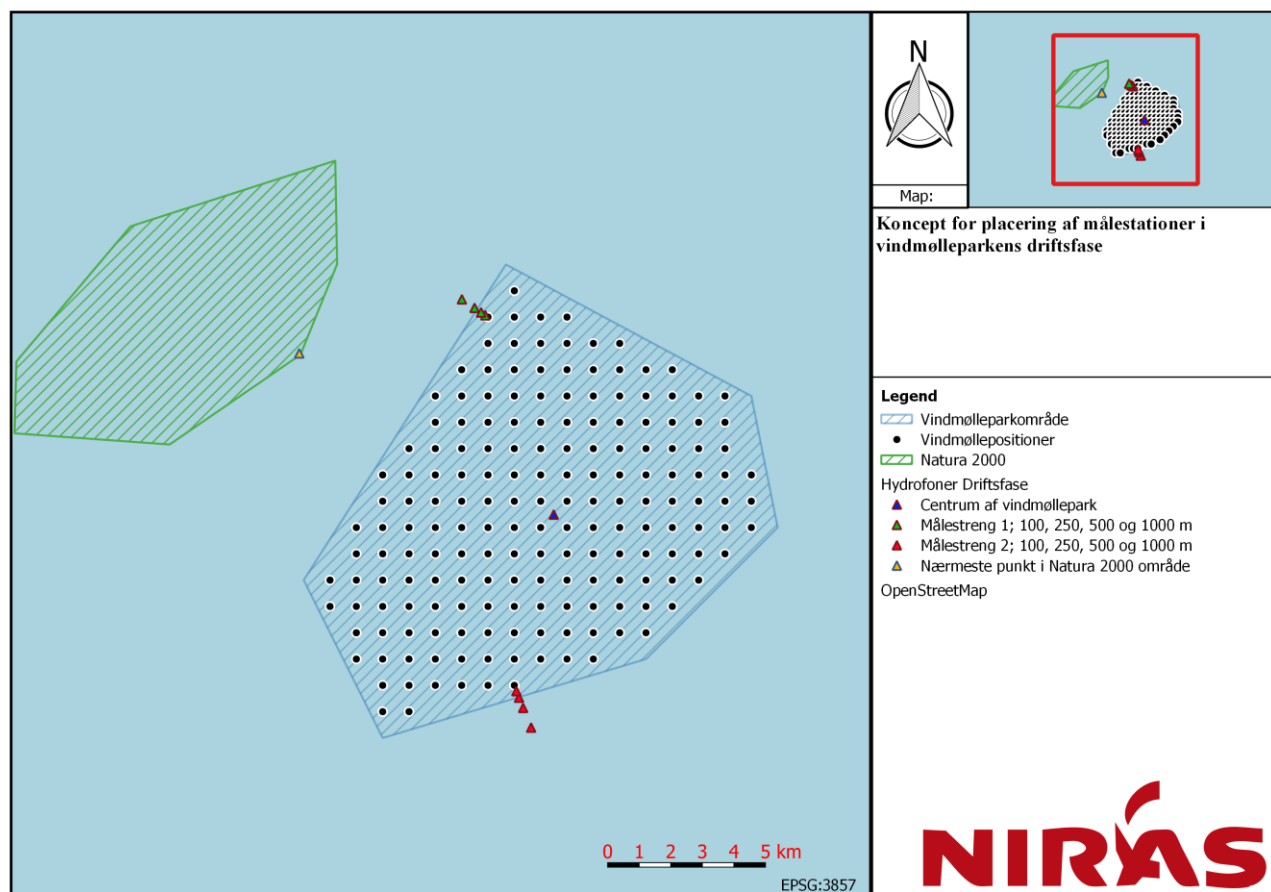
#### 6.1.1 Målepositioner

Konceptet for målestationer tager udgangspunkt i følgende detaljerede krav til måleprogrammet:



- Fælles for alle positioner gælder, at:
  - de så vidt muligt undgår de mest trafikerede områder uden for havvindmølleparken, hvad angår skibstrafik, fiskeri, transformerplatforme og øvrige anlæg.
  - De så vidt muligt placeres i et område hvor der mellem nærmeste havvindmølle og måleposition er en tilnærmelsesvis konstant vanddybdeprofil.
  - Individuelle afstande nævnt for de enkelte målestationer må ikke afvige mere end  $\pm 5\%$  fra den angivne afstand.
- Målestation 1: Centrum af havvindmøllepark
  - Denne målestation skal placeres i centrum af havvindmølleparken, dog ikke i nærheden af transformerstationer eller øvrige anlæg der ikke er havvindmøller, interne gennemsejladskorridorer eller lignende.
  - Positionen skal i videst muligt omfang vælges således afstanden til de 3 nærmeste havvindmøller er ens, og afstanden til hver enkelt havvindmølle må ikke være mindre end 250 m.
- Målestreng 1: Transektmålinger, vindmølle 1
  - Der udvælges en vindmølle i yderste række af havvindmølleparken, som så vidt muligt undgår områder med høj skibstrafik, herunder fra fiskeri, samt områder hvor planlagt ekstraordinært vedligehold af vindmøller i nærheden overlapper med måleperioden. Der skal vælges en vindmølle som ikke har planlagte stop inden for måleperioden.
  - Målestrengen skal bestå af minimum 4 målestationer.
  - De individuelle målestationer skal placeres i fast definerede afstande af 100 m, 250 m, 500 m og 1000 m fra den valgte vindmølle, i en lige linje som illustreret i Figur 6.1 (grønne trekanten).
- Målestreng 2: Transektmålinger, vindmølle 2
  - Der skal etableres en sekundær målestreng som opfylder de samme krav som angivet ovenfor for målestreng 1 men for en anden udvalgt vindmølle i yderste række af havvindmølleparken. Afstanden mellem vindmølle 1 og vindmølle 2 bør ikke være mindre end 5 km.
- Hvis der er et eller flere Natura 2000 områder med marine pattedyr på udpegningsgrundlag inden for en 5 km radius fra projektområdet, skal der foruden positionerne inde i projektområdet også udlægges et målesystem i hvert Natura 2000 område. Placeringen af målesystemet skal vælges som det punkt hvor afstanden mellem Natura 2000 området og projektområdet er kortest, og skal lægges på, eller umiddelbart inden for grænsen til Natura 2000 området.
- Hydrofonernes dybde skal som udgangspunkt være 2-3 m over havbunden, dog med nedenstående undtagelser.
  - Hvis lydprofilen i vandsøjlen afviger fra at være konstant over vanddybden, skal der suppleres med et ekstra målesystem i en dybde tilsvarende dybden for lydhastighedsminimum.

En illustration af konceptet for valg af målepositioner ses i Figur 6.1, for en tænkt vindmøllepark.



Figur 6.1: Koncept for valg af målestationer i forbindelse med driftsfasen for en tænkt vindmøllepark.

## 6.1.2 Måleudstyr

Måleudstyret skal opfylde samme specifikationer som angivet i afsnit 3.1.2.

## 6.1.3 Varighed og tidsperiode for målingerne

Målinger skal udføres over en passende tidsperiode, med udgangspunkt i følgende krav:

- Der skal udføres målinger kontinuert med en varighed på mindst 6 uger, inden for det første driftsår af vindmølleparken, for at sikre optagelser under forskellige vind- og vejrforhold.
  - Såfremt alle vindklasser (se afsnit 6.1.4) ikke er tilstrækkeligt repræsenteret i måletidsrummet (minimum 72 timers brugbare optagelser pr. vindklasse), skal måletidsrummet udvides således dette kriterie opfyldes.
- Måletidsperioden skal i videst muligt omfang vælges således:
  - Vedligeholdelsesarbejder ikke forekommer ved havvindmøller inden for en radius af 5 km fra de individuelle målepositioner. I det tilfælde hvor sådanne forekommer i en del af måletidsrummet, skal disse data analyseres separat fra perioder uden vedligeholdelsesarbejder.



- At havvindmøllerne inden for en radius af 5 km fra de individuelle målepositioner er i normal drift.
- Den procentvis aktive måleperiode (EN: duty cycle) skal være 100%.

#### 6.1.4 Dataanalyse

Efterbehandling og analyse af dataene skal følge samme koncept som for baseline målinger, beskrevet i afsnit 3.1.4, med følgende tilføjelser:

- De analyserede resultater skal grupperes og afrapporteres som funktion af vindklassen de er optaget under. Her gælder følgende:
  - Meget lav: 0 – 3,5 m/s
  - Lav: 3,5 – 7 m/s
  - Mellem: 7 – 10 m/s
  - Høj: over 11 m/s.
- Gennem analysen skal det undersøges om perioder af optagelserne er påvirket af forbipasserende skibe, hård regn, tordenvejr eller øvrige eksterne faktorer som giver signifikante udsving i de målte niveauer. En oversigt over de frasorterede data skal dokumenteres med angivelse af omfang og årsag.
- Analysen skal belyse bredbåndsstøjniveauer ( $L_{eq,5s}$ ) og 1/3-oktavbåndsniveauer ( $L_{05,5s}$ ,  $L_{50,5s}$  og  $L_{90,5s}$ ), for hver af de målte vindklasser for hver måleposition. Resultaterne skal afrapporteres både numerisk samt grafisk.
- Analysen skal dokumentere, for hver målestreng, hvordan lydniveauet ( $L_{eq,5s}$ ) reduceres som følge af afstand fra vindmøllen, på formen  $TL = SL - X \cdot \log_{10}(r) - \alpha \cdot r$ , hvor TL er transmissionstabet, SL er kildestyrken i SPL, X og  $\alpha$  er lydudbredelseskstanterne og r er afstanden fra kilden i meter. Analysen skal som minimum inkludere grafisk repræsentation hvor datapunkter ( $L_{eq,5s}$ -værdier) plottes sammen med den etablerede sammenhæng mellem afstand og lydniveau.
- Såfremt der er målepositioner i nærliggende Natura 2000 områder, skal analysen dokumentere støjniveauet heri ved de forskellige vindklasser.
- Analysen skal indeholde en saglig sammenligning af niveauerne på tværs af målestationerne og i forhold til de målte niveauer under etablering af baseline.

#### 6.1.5 Leverancer

I nuværende version er det endnu ikke fastlagt, hvor data skal indrapporteres. Dette vil fremgå i en senere opdatering af databladet.

Målingerne skal dokumenteres i form af en teknisk målerapport, samt en digital leverance med rådata fra målingerne. Nedenfor angives krav til indhold i den tekniske rapport, efterfulgt af krav til indholdet af den digitale leverance.

Målerapporten skal følge specifikationerne angivet i afsnit 3.1.5, med følgende tilføjelser:

- Beskrivelse af havvindmøllernes drift inden for måletidsrummet. Dette inkluderer:
  - Vindmøllernes driftstilstand (output) på 10 minutters basis, eller et kortere tidsinterval.



- Vindhastigheder i turbinehøjde, i m/s fra nærmeste turbiner til hver måleposition. Tidsinterval for oplysning på maksimalt 10 minutters basis.
- Tilstedeværelsen af service skibe under hele måletidsperioden, afbilledet visuelt med skibets position i 5 min. interval.

Den digitale levering skal overholde samme specifikationer som angivet i afsnit 3.1.5, med følgende tilføjelser:

- Alle relevante logfiler, herunder:
  - GPS-log for serviceskibe inden for måletidsperioden.
  - Vindhastighedslogfiler
  - Driftslogfiler for vindmøllerne nærmest de individuelle målepositioner

## 7. Krav til kalibrering

For at sikre kvaliteten af målinger, stilles der krav om dels periodevis laboratoriekalibrering i det fulde frekvensområde, samt kalibreringstjek før og efter udsætning af udstyr i det specifikke projekt. Generelt skal retningslinjerne for kalibrering i ISO 18406, afsnit 4.3 følges.

- Alle hydrofoner skal gennemgå kalibrering der er sporbar til nationale eller internationale standarder. Fuld laboratoriekalibrering bør ske i overensstemmelse med IEC 60565-1:2020 og IEC 60565-2:2019. Det anbefales at fuld laboratoriekalibrering af hydrofoner foretages med et interval på maksimalt 2 år.
  - Seneste laboratoriekalibreringscertifikater skal inkluderes i dokumentationen af målingerne.
  - Hvis en hydrofon har været udsat for fysisk skade, eller uhensigtsmæssig håndtering, herunder hvis den er blevet fanget i et trawl, er det et krav at fuld laboratoriekalibrering udføres før hydrofonen udsættes igen.
- Alle målesystemer skal gennemgå kalibreringstjek umiddelbart før og efter udsætning og mellem eventuelle gentagne udsætninger.
  - Kalibreringstjek kan udføres ved hjælp af en hydrofon-kalibrator, eller hvis det er muligt for det valgte målesystem, en elektrisk signalinjektion.
  - Kalibreringsværdier for alle målesystemer skal dokumenteres i den endelige rapport, inklusive dokumentation af det dynamiske område, forstærkningsindstillinger og hvilket lydtrykniveau der svarer til fuld udstyring på optagelsen (klip-niveau).



## 8. Referencer

BSH. (2011). *Measuring instruction for underwater sound monitoring; Offshore wind farms*. Hamburg: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.

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.

European Commission. (2017). *Commission Decision (EU) 2017/848 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*.

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)*.

Miljøstyrelsen. (2020). *Danmarks Havstrategi II. Anden del. Overvågningsprogram*.

Tougaard, J. (2020). *M33. Indrapportering af impulsstøj. Teknisk anvisning*.

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*.