



Energistyrelsen



Marint affald

Datablad

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 Energistyrelsens hjemmeside.

Produkt: Marint affald - Datablad

Udgiver: Energistyrelsen

Billeder og illustrationer: NIRAS A/S

Dato: september 2025

Version: 1.0



1. Indledning	4
2. Vurdering af egnethed for måling af mikroplast i sediment	5
3. Baseline	5
4. Overvågning under driftsfase	6
4.1 Overvågning af tab og vedligehold af overfladebehandling på møller	6
4.2 Overvågning af mikroplast i sediment	7
4.2.1 Metode	7
4.2.2 Placering af påvirkningsstationer	8
4.2.3 Referenceområde	8
4.2.4 Antal/Tidspunkt/Frekvens/Varighed:	8
4.2.5 Malingskrab fra møller	8
4.3 Overvågning af spøgelsesnet og andet affald	8
5. Statistik	9
6. Afrapportering af data	10
7. Referencer	11
4. Bilagsliste	11



1. Indledning

Dette datablad beskriver, hvorledes effektovervågning af marint affald skal foregå for at kunne vurdere effekter fra en havvindmøllepark. For mikroplast tager databladet udgangspunkt i de metoder, der anbefales af Miljøstyrelsen. Dette er gjort for at sikre sammenlignelighed med eksisterende og kommende data fra den nationale overvågning.

Marint affald defineres i Danmarks Havstrategi som menneskeligt produceret eller forarbejdet materiale, som bevidst eller ubevidst er efterladt på havet eller stranden, eller tilført havet via vandløb eller spildevand direkte fra det omgivende land. Marint affald består hovedsagelig af plastmateriale (70 - 90%) og kan opdeles i makroaffald, som er større end 5 mm og mikroaffald, som er mindre end 5 mm (Miljøministeriet, 2019). Mikroplast i havmiljøet optræder generelt både i suspenderet form og som aflejring på havbunden, hvor det indgår i sedimentbudgettet. Plast i havmiljøet kan udgøre en risiko for dyrelivet, idet dyreplankton, muslinger, fisk og en lang række andre marine dyr indtager mikroplast, og mikroplast spredes derved i fødekæden (Sørensen et al., 2013).

Overordnet må det forventes, at havvindmølleparker ikke er væsentlige kilder til marint affald. Dog er bidraget af mikroplast fra overfladebehandling (coating) til havmiljøet en ikke-velundersøgt kilde, hvor begrænsede tilgængelige estimater af tabt overfladebehandling ses at variere betydeligt.

Der tages i dette dokument afsæt i, at der er forbud mod udtømmning af affald på dansk søterritorium i havmiljøloven, hvorfor det ikke forventes at havvindmølleparker er kilde til tilførsel af makroaffald til det marine miljø. For havvindmølleparker vil det hovedsageligt være relevant at overvåge mikroaffald i form af tilførsel af mikroplast fra overfladebehandling (coating) af vindmøllerne til havmiljøet, samt overvåge potentialet for at vindmøllefundamenter kan optræde som betydelige fælder for spøgelsesnet og andet større flydende marint affald. Der er ikke vurderet behov for at overvåge marint affald under konstruktionsfasen (se uddybning i tilhørende baggrundsnotat).

Mikroplast kan tilføres havmiljøet i form af erosion af overfladebehandlingen på møllerne og andre stålkonstruktioner i en havvindmøllepark. Der er på nuværende tidspunkt en begrænset viden om størrelsen og betydningen af tilførsel af mikroplast fra havvindmøller til det omgivende vandmiljø (DTU, 2024).

Nævrværende datablad indeholder et forslag til direkte overvågning af vindmøllerne i form af løbende opgørelse af tabt overfladebehandling via inspektion og systematisk afrapportering i forbindelse med vedligehold af overfladebehandling. Derudover kan det for specifikke lokaliteter være relevant at overvåge forekomst af mikroplast fra eroderet overfladebehandling fra havvindmølleparker i havbundssedimentet. Det vil gælde for de havvindmølleparker, hvor der vurderes at være tilstrækkelige sedimentationsforhold/aflejringspotentialer (dvs. ingen/lav sedimenttransport). I databladet indgår der indledningsvist en vejledning til at afgøre, hvorvidt det er relevant at overvåge for mikroplast i sediment for den enkelte havvindmøllepark (afsnit 0).

Man ved erfaringsmæssigt, at spøgelsesnet og andet makroaffald kan aflejres omkring stenrev, vrug mv (DTU, Ghost nets in Danish waters, 2021). Det er derfor relevant at formode, at møllepæle og strukturer omkring fundamenterne kan være fælder for fiskenet og andet affald. Overvågning og registrering af dette



fænomen og eventuel håndtering/fjernelse af fasthæftet/aflejret spøgelsesnet og makroaffald vil ligeledes blive beskrevet i databladet.

Ved at overvåge marint affald fra havvindmølleparker 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 Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.: Indledning**
- **Afsnit 2: Vurdering af egnethed for måling af mikroplast i sediment**
Her beskrives, hvordan det som første led i overvågningen af marint affald skal afklares, om overvågning af eroderet mikroplast fra møllers overfladebehandling i sedimentet er relevant for den konkrete havvindmøllepark i det givne geografiske havområde.
- **Afsnit 3: Baseline**
Heri beskrives krav til måleprogrammet, som har til formål at etablere en baseline for baggrundniveauer af mikroplast samt at sikre indhentning og lagring af relevant information om møller mv.
- **Afsnit 4: Overvågning under driftsfase**
Heri beskrives krav til måleprogrammet, som har til formål at tilvejebringe data og viden om den påvirkning, en havvindmøllepark har på marint affald.

2. Vurdering af egnethed for måling af mikroplast i sediment

Indledningsvist afklares det, hvorvidt havvindmølleparken er placeret i et geografisk havområde, der er egnet til at udføre overvågning af eroderet mikroplast fra møllers overfladebehandling i havbundssedimentet. For områder med en høj sedimenttransport vil det forventeligt ikke være muligt at måle effekter, da mikroplast vil spredes over store afstande. I områder med finkornet materiale i form af ler og silt, dvs. områder med aflejringspotentiale, kan der forekomme aflejring af mikroplast. Derudover skal vanddybden være tilpas dyb, således at det undgås at bølger i området skaber turbulens på bunden og dermed resuspension af sedimentet. Vurdering af egnetheden baseres på en hydrodynamisk model for området i og omkring havvindmølleparken, hvor vurdering på baggrund af bathymetri, strømforhold, bunderosion mv. kan af- eller bekræfte egnetheden for overvågningen af mikroplast i havbundssediment indenfor eller i umiddelbar nærhed af parken. Ud fra denne analyse foretages placering af prøvetagningspunkter af sediment, hvor stationer udlægges i områder med højst aflejringspotentiale (i både havvindmøllepark og referencestation).

3. Baseline

Udarbejdelse af baseline i henhold til nærværende datablad består af følgende to aktiviteter:

1. Indhentning og lagring af vindmølleparkproducenters materiale og sikkerhedsdatablade for overfladebeskyttelse benyttet på møller og andre stålkonstruktioner i havvindmølleparken, både elektronisk og fysisk fx i en logbog eller et ringbind. Disse er til brug for overvågning af tab og vedligehold af overfladebehandling på møller (afsnit 4.1) og afrapportering.



2. I tilfælde af, at der skal overvåges mikroplast i sediment (se vurdering af egnethed ovenfor i afsnit 2), udføres der baseline overvågning af mikroplast i havbundssediment forud for havvindmølleparkens etablering. Metodebeskrivelse og placering af stationer er angivet nedenfor i afsnit 4.2. En enkelt prøvetagningsrunde á fem stationer (i påvirkningsområdet) og et referenceområde med fem stationer op til et år forinden etablering af havvindmølleparken vurderes tilstrækkeligt til baseline for mikroplast i sediment.

4. Overvågning under driftsfase

I driftsfasen kan der ske tilførsel af mikroplast til havmiljøet fra slid og erosion fra møller og andre stålkonstruktioners overfladebeskyttelse, både passivt og under udførelse af vedligehold. Derudover kan der omkring møllefundamenter og andre konstruktioner forekomme aflejret spøgelsesgarn og andet affald. I det følgende omtales møller og eventuelle andre faste konstruktioner i en havvindmøllepark som møller alene.

4.1 Overvågning af tab og vedligehold af overfladebehandling på møller

Der foretages en systematisk gennemgang og opgørelse af overfladebehandlingen på møllerne løbende, der estimerer tab af overfladebehandling samt en registrering af eventuel afslibning og påføring ved behov for vedligehold. Formålet er at estimere tab af overfladebehandling under møllernes levetid til havmiljøet.

Overvågningen af overfladebehandling på møller gennemføres samtidig med udførelse af serviceeftersyn i henhold til CAS (Energistyrelsen, 2024). Almindeligvis er perioden mellem servicebesøg på en vindmølle mellem et halvt til et helt år. Der anvendes et egnet måleapparat (fx magnetisk, eddy current, ultrasonik eller mikrometer) til den specifikke mølledel til estimeringen af malingtykkelsen på intakte steder samt på brudte overflader (afskallede områder). Er der mange afskalninger, kan et estimat af areal af afskallet overflade benyttes til beregning af samlet tab. Tabsestimer opgøres for hver mølledel og den specifikke anvendte overfladebehandling herpå. Der skal således også tages hensyn til de eventuelt forskellige anvendte lag af overfladebehandling i samme område omkring afskalninger. Der udføres inspektion og tabsestimer på minimum 10 % af havvindmøllerne i en park. Der noteres under inspektionerne bemærkninger af uventede forhold (fx hvis der har været et uheld, lynnedslag, ødelagte mølledele mv.).

Ligeledes registreres og opgøres al vedligehold i forhold til overfladebehandling som en del af nærværende overvågning. Det inkluderer registrering af forberedende arbejder i form af slibearbejde/afpudsning, samt hvilke produkter og mængder af ny overfladebehandling, der benyttes. Mængder til påføring af slitagen/skaden kan ligeledes bruges til at estimere initial tab på mølledelen.

Registreringerne samles og tabsmængder beregnes og afrapporteres hvert femte år. Man skal ved beregningerne være opmærksomhed på, om det er de samme møller der inspiceres, og om der har været udført vedligehold af overfladebehandling tidligere på de inspicerede møller. Beregning af tab skal således afspejle tabet under den pågældende afrapporteringsperiode samt et samlet tab for den aktuelle levetid ved afrapporteringen.



Nedenfor fremgår de opgørelser, der som minimum skal afrapporteres hvert femte år.

Erosion/slitage:

- Samlet tab (kg) fra slid opgøres pr. mølle (min 10% af samlede antal møller undersøges) og for hele parken (estimeret ud fra de 10 %) for hhv. den pågældende 5-årige periode og for den samlede aktuelle levetid ved afrapporteringen.
- Tab (kg) fra slid differentieres ud fra type af coating og mølledel (hvert 5. år og aktuelle levetid).

Vedligehold:

- Tidspunkt og mølle ID samt området/delen af møllen, der skal vedligeholdes.
- Hvis afslibning/pudsning, hvor støv fra det afslebne coating ikke opfanges under arbejdet: Estimeret tabsandel herfra baseret på areal, tykkelse mv., samt typen af coating der nedslibes.
- Påføring: Type af coating, mængde påført coating, areal påført, påføringsmetode. Registrering af om der sker spild under påføring (i så fald hvilket produkt og mængde).

Samlet:

- Samlet tab (kg) fra opgørelse fra slid samt vedligehold opgøres pr. mølle og for hele parken for hhv. parkens aktuelle levetid og for den pågældende afrapporteringsperiode.

4.2 Overvågning af mikroplast i sediment

Overvågning af mikroplast i havbundssediment har til formål at analysere mikroplastpartikler (størrelsesintervallet fra 10 µm til 5 mm) i marint sediment. Dette interval er valgt, da 10 µm er en realistisk nedre grænse, hvor mikroplast kan blive kvantificeret, mens 5 mm er den generelle øvre grænse for definitionen af "mikroplast" og følger metodebeskrivelsen fra den statslige overvågning (Aalborg Universitet, 2024), der er vedlagt som bilag 1.

4.2.1 Metode

Prøvetagning, analyse, metadata og indrapportering af data følger Metodebeskrivelse for overvågning af mikroplast i marint sediment i bilag 1 (Aalborg Universitet, 2024). Placering af stationer, antal, overvågningsfrekvens samt referencestationer for nærværende effektovervågning fremgår nedenfor i afsnit 4.2.2 og 4.2.3.

Mikroplast i sedimentet analyseres for: samlet masse, antal, størrelsesfordeling og polymerfordeling. Dertil analyseres der for tørstof, glødetab og vandindhold. Mikroplast analyseres både for antal (N/kg) og masse (µg/kg), idet disse to måleenheder kan føre til ganske forskelligartet konklusion.

Polyurethan og generelt lak og maling (fx epoxy) indgår i polymergruppen til analysering af polymerfordeling af mikroplast i den statslige metodebeskrivelse (Aalborg Universitet, 2024). Ud fra spektralanalyserne udføres der en fingerprintanalyse af polymergrupperne, som kan give indikationer af, om mikroplasten i sedimentet stammer fra den undersøgte havvindmøllepark, hvor man sammenligner polymer fingerprint fra malingskrab af møllerne



4.2.2 Placering af påvirkningsstationer

Der udlægges minimum fem stationer (påvirkningsstationer) i alt. Fra hver station foretages der én måling af mikroplast. Stationerne placeres der, hvor aflejringspotentialet inden for eller omkring parken vurderes højest og som samtidig ligger overvejende nedstrøms fundamenterne og om muligt i umiddelbar nærhed af fundamenterne også. Til vurdering og fastsættelse af områder med bunderosion anvendes modelleringer af hydrografien i området. Stationerne placeres med tilpas (ikke nærmere fastsat) afstand imellem.

4.2.3 Referenceområde

Der udlægges et referenceområde med minimum fem stationer. Fra hver station foretages der én måling af mikroplast. Referencemålingerne placeres på basis af en strømningsberegning og under hensyntagen til de fremherskende strømretninger. De placeres i områder med et aflejringspotentiale, der afspejler det, som benyttet på påvirkningsstationerne, men hvor sandsynligheden for aflejring af mikroplast fra vindmøllerne vurderes mindst. Det kan betyde, at referencemålinger skal ligge relativt langt fra havvindmølleparken. Der udlægges fem referencestationer med tilpas (ikke nærmere fastsat) afstand imellem.

4.2.4 Antal/Tidspunkt/Frekvens/Varighed:

En enkelt station består, som beskrevet i metodebeskrivelsen i bilag 1 (Aalborg Universitet, 2024), af mindst 25 individuelle nedstik, der puljes til én prøve, der analyseres for mikroplast. Sedimentprøver til analyse af mikroplast kan tages hele året rundt.

I driftsperioden foretages første prøvetagningsrunde 3 år efter driftsfasens opstart og derefter hvert 5. år, indtil minimum 18 års drift af havvindmølleparken.

4.2.5 Malingskrab fra møller

Til fingerprintanalysen af polymerfordelingen foretages der malingskrab på møllerne efter 3 års drift. Der foretages som minimum skrab fra én mølle, der repræsenterer de forskellige anvendte overfladebehandlinger (fx vinger, tårn i splash zonen og/eller fundamentet under vand) på vindmøllerne, og som analyseres særskilt. Skrab og analyse kan foretages samtidigt med første prøvetagningsrunde af sediment (3 år efter installation) eller alternativt forinden. Der vurderes som udgangspunkt ikke behov for at udføre flere malingskrab end denne ene gang, medmindre der anvendes en anden type coating ved vedligehold af overfladebehandling under drift end den oprindelige.

4.3 Overvågning af spøgelsesnet og andet affald

I forbindelse med årlige inspektioner, serviceringer, vedligehold mv., registreres observationer af spøgelsesnet, andre tabte fiskeriredskaber, reb og andre anormaliteter/affald, der er fanget på vindmøller og erosionsbeskyttelse i en samlet logbog. Ligeledes kan der med fordel også foretages registreringer under anden effektovervågning, hvor der gøres brug af undervandsinspektion fx ved sidescan sonar, ROV eller dykkere.

Der registreres følgende:

- Mølleposition og position af anormalitet på selve møllen



- Type af anormalitet og størrelse
- Note om marin fauna er påvirket
- Hvis anormaliteten er bjerget/fjernet, noteres dette

Registreringerne samles, og der laves en samlet opgørelse over fasthæftet affald omkring møller hvert 5. år, der afrapporteres sammen med den øvrige 5. årlige rapportering for marint affald (mikroplast fra overfladebehandling afsnit 4.1).

Viser overvågningen over tid, at der for havvindmølleparkerne er et potentiale for fasthæftelse af ikke-ubetydelige mængder af affald og dermed for en aktiv indsats ift. opsamling og bortskaffelse, udbygges effektovervågningen af denne del med en oprensningsplan, der vil kunne bidrage til indsatsen i Danmarks Havstrategi (indsat DK-HSII-16 og 17) (Miljøministeriet, 2024). anbefalinger til oprensningsteknikker og overvejelser i forbindelse hermed kan findes i DTU's rapport om spøgelsesnet (DTU, Ghost nets in Danish waters, 2021).

5. Statistik

Formålet med nærværende effektovervågning er at undersøge eventuelle ændringer i mængden af mikroplast (masse, antal og polymerfordeling) i sedimentet, der forekommer i forbindelse med driften af havvindmølleparker. Dette skal forstås som værende variationer, der strækker sig udover det, der forekommer af 'naturlige' variation, og som kan tilskrives havvindmølleparkens påvirkning.

De foreslåede undersøgelser er formet efter principperne ved et BACI (Before-After-Control-Impact) studiedesign, som er en kendt metode til at identificere menneskeskabte ændringer og effekter ved anlægsprojekter (Conner et al., 2016). I dette design sammenlignes resultaterne før og efter havvindmølleparkimplementering i både reference- (Control) og påvirkningsområdet (Impact). Formålet er at belyse potentielt signifikante interaktionseffekter, der indikerer at ændringerne i den undersøgte miljøfaktor ligger uden for, hvad der kan tilskrives den 'naturlige' variation.

Undersøgelser i naturlige systemer (in situ) resulterer ofte i en datavarians, som ligger uden for den normalfordeling, der er påkrævet af mange statistiske test (Krzywinski and Altman, 2014). Derfor anbefales non-parametriske test såsom Generalized Linear Mixed-Modelling (GLMM). GLMM er en alsidig og fleksibel modelleringsform, der tillader analyse af responsvariabler med non-parametrisk fordeling og inklusion af random-effekter for at håndtere uønskede korrelationer. Analysen skal opbygges efter principperne bag 'Repeated measures' principperne (Muhammad, 2023), som er en metode til at sammenligne gennemsnit i den undersøgte variabel på tværs af flere tidspunkter for de undersøgte områder. Den tager højde for, at målingerne er afhængige, da de gentages på det samme område, og undersøger, om der er en signifikant forskel mellem de forskellige tidspunkter og områder.



Tabel 5.1: Eksempel på, hvorledes modellen til analyse af detektionspositive minutter kan opstilles. Adskillelsen af single effekter og interaktioner er indikeret med et plus-symbol, og interaktioner mellem kovariater er indikeret med kolon ':':

Responsvariabel	Kovariater inkl. iterationer	Relevante random-effekter
Mikroplast (masse)	Område + Tid + Område : Tid	Station-ID
Mikroplast (antal)	Område + Tid + Område : Tid	Station-ID

En anbefaling til de forskellige parametre, der skal indgå i den statistiske analyse ses i tabel 6.1. Efter GLMM analysen skal der, i tilfælde af signifikante interaktionseffekter, gennemføres non-parametriske post-hoc test, såsom *Wilcoxon Signed-Rank Test*, der kan belyse hvorledes de identificerede forskelle træder i kraft (Krzywinski and Altman, 2014). Alle statistiske test skal benytte p-værdi <0.05 , som værende grænseværdien for signifikante resultater.

Undersøgelsen af ændringer i polymertyper, der findes i sedimentet, kræver brug af multivariatanalyse, hvor den non-parametriske metode PERMANOVA (Permutational Multivariate Analysis of Variance) er særligt anbefalet. Mikroplast data antages at omfatte mange polymertyper, hvilket nødvendiggør en multivariat tilgang, som PERMANOVA er velegnet til, da den kan teste forskelle i polymertypesammensætningen i sedimentet. Denne metode er særligt effektiv til at sammenligne 'samfundsstrukturer' på tværs af områder og tidspunkter, som det kræves i et BACI-studiedesign.

Efter gennemførelse af PERMANOVA-analysen kan eventuelt signifikante resultater undersøges yderligere ved hjælp af en SIMPER-analyse (Similarity Percentages) for at få en dybere forståelse af de observerede forskelle. SIMPER beregner, hvor meget hver enkelt polymertype bidrager til de samlede forskelle mellem grupperne, hvilket giver et bedre indblik i, hvilke typer der driver de observerede ændringer i polymertypesammensætningen i sedimentet.

Desuden kan multivariate ordinationsmetoder som NMDS og PCA anvendes som visualiseringsværktøjer, der gør det lettere at fortolke resultaterne fra multivariate analyser som PERMANOVA. Disse metoder skaber et grafisk overblik over prøvernes forskelle og ligheder, hvilket kan give en dybere indsigt i de observerede mønstre i et BACI-design.

6. Afrapportering af data

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



7. Referencer

- DTU. (2021). Ghost nets in Danish waters. *Eva Maria Pedersen, Niels G. Andersen, Josefine Egekvist, Anders Nielsen, Jeppe Olsen*.
- DTU. (2024). Projekt PREMISE. <https://premise.dtu.dk/>.
- Energistyrelsen. (2024). Servicering af vindmøller. <https://cas.ens.dk/servicering/info/#:~:text=Service%20p%C3%A5%20vindm%C3%B8ller%20over%2040,service%20skal%20indberettes%20til%20Energistyrelsen>.
- Miljøministeriet. (2019). Danmarks Havstrategi II, basisanalyse. <https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/vandmiljoe/havet/danmarks-havstrategi-ii>.
- Miljøministeriet. (2024). Danmarks Havstrategi II, tredje del. Indsatsprogram. <https://mim.dk/media/zqknzk1p/indsatsprogram-2024.pdf>.
- Sørensen et al. (2013). Analyse af marint affald i sild og hvilling fra det nordlige Storebælt. *DTU*.
- Aalborg Universitet. (2024). Metodebeskrivelse for overvågning af mikroplast i marint sediment" sendt i udbud af MST d. 25. april 2024. Forfattere: Jes Vollertsen og Fan Liu.

4. Bilagsliste

Bilag 1: Metodebeskrivelse fra "Metodebeskrivelse for overvågning af mikroplast i marint sediment" udarbejdet af Jes Vollertsen og Fan Liu, Aalborg Universitet for Miljøstyrelsen.